

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Analýza nového softwarového produktu

pro návrh signálních plánů

Analysis of New Software Designated

for Control Plan Design

Student:

Bc. Adam Gassmann

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adam Gassmann**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 30 Technologie dopravy
Téma: **Analýza nového softwarového produktu pro návrh signálních plánů**
Analysis of New Software Designated for Control Plan Design

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretická východiska pro řešení práce
3. Analýza software z pohledu dopravního inženýra
4. Komparace výsledků dosažených pomocí analyzovaného software s jinými přístupy
5. Identifikace možností rozšiřování software a možnosti optimalizace kvality generovaných výsledků
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Technické podmínky TP 81 - Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu.
Brno: Centrum dopravního výzkumu. 1996. 111 s. ISBN 80-902141-2-6.
MEDELSKÁ, V. a kol. *Dopravné inžinierstvo.* Bratislava: Alfa Bratislava. 1991. ISBN 80-05-00737-X.

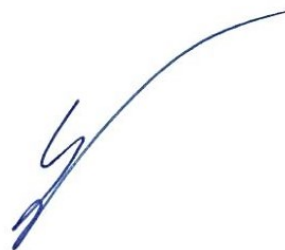
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Dorda, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013
Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

.....
Gospmann Adam
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – Diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014

Gassmann Adam

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Adam Gassmann

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sídliště 128, Jakubčovice nad Odrou, 742 36

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Dordovi, Ph.D. za odborné konzultace, kterými byly získány cenné informace a rady pro vypracování této diplomové práce.

Poděkování rovněž náleží Mgr. Martinu Procháskovi ze společnosti Siemens za konzultace a obeznámení s pracovním prostředím softwaru Sitraffic smartCore.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Gassmann, A. Analýza nového softwarového produktu pro návrh signálního plánu.
Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická
univerzita, 2014, 95 stran. Diplomová práce, vedoucí: Dorda, M.

Diplomová práce se zabývá analýzou nového produktu pro návrh signálního plánu vyvinutého společností Siemens.

Úvodní část práce je věnovaná představení společnosti Siemens, jejího portfolia výrobků a působnosti na území ČR. Úvod dále zmiňuje úsek Corporate Technology Development Center zabývající se vývojem nového softwarového produktu Sitraffic smartCore.

Teoretická část je zaměřena na návrh signálního plánu. Jsou zde uvedeny všechny podmínky a předpoklady ke správnému návrhu signálního plánu pro světelně řízenou křižovatku.

Následující kapitola je již zcela věnována softwaru Sitraffic smartCore. V ní je obsažen uživatelský popis pracovního rozhraní a jednotlivých kroků při nastavení.

Praktická část je zaměřena na srovnání výsledků dosažených za použití specializovaného softwaru s jinými přístupy výpočtu sestavení signálního plánu. Této části náleží také možné rozšíření softwaru o funkce s potenciálem zlepšit kvalitu generovaných výsledků.

Cílem této studie je zhodnocení nového software, především jeho úplnosti z pohledu dopravního inženýra. Práce se snaží o nalezení možností vylepšení současného produktu.

Klíčová slova: návrh signálního plánu, metoda saturovaného toku, Sitraffic smartCore.

ANOTATION/ABSTRACT OF DIPLOMA THESIS

Gassmann, A. Analysis of New Software Designated for Control Plan Design.
Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering
VŠB - Technical University, 2014, pages 95. Diploma thesis,
Supervisor: Dorda, M.

This diploma thesis focuses on analysis of the new software product of Siemens Company designated for the intersection signal plan design.

The first part is dedicated to the introduction of the Siemens Company, its portfolio and activities in Czech Republic. In addition, the Corporate Technology Development Center, which participates actively on the development of Sitraffic smartCore product.

The theoretical part describes design process and all preconditions and assumptions necessary for proper design of traffic-light-controlled intersection signal plan.

The next chapter is devoted to description of the Sitraffic smartCore. It includes the overview of user interface and description of each intersection design step.

The practical part of the thesis presents the results achieved by using the software compared to results achieved by other ways. This chapter also includes the proposals with the potential to improve the results generated by the software.

The goal of this study is to evaluate the software primarily for its completeness from the point of view of traffic engineer. The thesis also seeks for the possible improvements of the product.

Keywords: Traffic Signal Design, Webster's method, Sitraffic smartCore.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	10
1. ÚVOD	13
2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO ŘEŠENÍ PRÁCE	15
2.1 Návrh signálního plánu.....	15
2.1.1 Podklady pro návrh.....	18
2.1.2 Návrh fázového schéma	20
2.1.3 Výpočet mezičasů pro jednotlivé kolizní směry	24
2.1.4 Stanovení délky cyklu	26
2.1.5 Posouzení kapacity světelně řízené křižovatky	28
2.2 Metoda saturovaného toku	34
2.3 Metody založené na matematickém programování	36
3. ANALÝZA SOFTWARE Z POHLEDU DOPRAVNÍHO INŽENÝRA.....	40
4. KOMPARACE VÝSLEDKŮ DOSAŽENÝCH POMOCÍ ANALYZOVANÉHO SOFTWARE S JINÝMI PŘÍSTUPY	52
4.1 Podklady pro návrh	53
4.1.1 Návrh fázového schématu	55
4.1.2 Výpočet mezičasů	60
4.1.3 Volba optimálního pořadí fází	61
4.1.4 Stanovení délky cyklu a délek jednotlivých fází vybranými metodami	64
4.1.5 Porovnání získaných výsledků.....	83
4.2 Modifikace křižovatky	85

5. IDENTIFIKACE MOŽNOSTÍ ROZŠIŘOVÁNÍ SOFTWARE A MOŽNOSTI OPTIMALIZACE KVALITY GENEROVANÝCH VÝSLEDKŮ	89
5.1 Intenzity dopravy	89
5.2 Počty řadících pruhů	90
5.3 Výpočet mezičasů	90
5.4 Zavedení matematického modelu	92
5.5 Kapacitní posouzení	92
6. ZÁVĚR.....	93
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	94
SEZNAM PŘÍLOH	95

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Symbol	Význam symbolu
A	Proudově fázová incidenční matice
C	Délka cyklu [s]
CDV	Centrum dopravního výzkumu
C_{min}	Délka minimálního cyklu [s]
C_{ot}	Délka optimálního cyklu [s]
C_{str}	Délka strukturálního cyklu [s]
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
I	Intenzita dopravy [$jv.h^{-1}$]
I_v	Návrhová intenzita na vjezdu [$jv.h^{-1}$]
K_v	Kapacita vjezdu [$jv.h^{-1}$]
L	Celkový ztrátový čas [s]
L_{F1}	Délka fronty řadícího pruhu [m]
L_{F2}	Orientační délka fronty při překročení kapacity [m]
L_n	Najížděcí dráha [m]
L_v	Vyklizovací dráha [s]
MHD	Městská hromadná doprava
R	Poloměr směrového oblouku při odbočování [m]
Rez	Rezerva kapacity vjezdu [%]
S	Výsledná hodnota saturovaného toku vjezdu

Sb.	Sbírka
SSZ	Světelné signalizační zařízení
S_{zaki}	Základní saturevaný tok [$jv.h^{-1}$]
TP	Technické podmínky
UKD	Úroveň kvality dopravy
Y	Celkový stupeň saturace [-]
Z_j	Bivalentní proměnná modelující výběr fáze
a	Koeficient zohledňující podélný sklon vozovky [-]
a_{ij}	Prvek proudově-fázové incidenční matice, index i představuje proud a index j představuje fázi
f	Podíl odbočujících vozidel z celkové intenzity vjezdu [-]
$jv.h^{-1}$	Jednotkové vozidlo za hodinu
k_{obl}	Koeficient oblouku [-]
k_{skl}	Koeficient sklonu [-]
l_i	Ztrátový čas pro i-tou fázi [s]
l_{voz}	Délka vozidla [m]
m	Metr
$m.s^{-1}$	Metr za sekundu
m_{ij}	Mezičas mezi koncem doby zelené pro proud P_i a začátkem doby zelené pro proud P_j
n	Počet fází [-]
n_p	Počet jízdních pruhů [-]
s	Sekunda

t_b	Bezpečnostní doba [s]
t_m	Rozhodující mezičas mezi po sobě jdoucími fázemi [s]
t_n	Najížděcí doba [s]
t_v	Vyklizovací doba [s]
t_w	Střední doba zdržení [s]
t_z	Nutná doba zelené fáze [s]
u	Minimální poměrná rezerva mezi nabízenou a průměrně požadovanou dobou zelené pro proud [-]
v_n	Najížděcí rychlost [m.s^{-1}]
voz.h^{-1}	Vozidlo za hodinu
v_v	Vyklizovací rychlost [m.s^{-1}]
x_i	Začátek doby zelené [s]
y	Stupeň saturace [-]
y_i	Konec doby zelené [s]
z	Délka zeleného signálu [s]
z'	Délka efektivní zelené [s]

1. ÚVOD

Diplomová práce na téma analýza nového softwarového produktu pro návrh signálních plánů se zabývá analýzou zmíněného produktu z pohledu dopravního inženýra spolu se srovnáním výsledků dosažených pomocí specializovaného softwaru Sitraffic smartCore s konvenčními výpočtovými metodami určenými k návrhu a sestavení signálního plánu. Sitraffic smartCore je softwarový produkt firmy Siemens, který bude v nejbližší době uveden na trh. Produkt vstupuje na trh, kde se v současné době nabízí poměrně úzký počet softwarových aplikací, podobného zaměření. Záměrem společnosti Siemens, představující svoji novinkou v podobě Sitraffic smartCore je vytvořit program, který komplexně usnadní práci dopravního inženýra při návrhu a zajistí provedení od prvopočátku až k samotné konečné realizaci, ve formě vložení signálního programu do řadiče světelně řízené křižovatky.

Úvodním slovem se věnujme společnosti Siemens. Počátek vzniku společnosti se datuje do první poloviny 19. století, přesněji do roku 1847, kdy započala její působnost. V průběhu let se společnost rozrůstá prostřednictvím nepřetržité činnosti v oblasti vývoje, výzkumu a technických inovací. V dnešní době patří mezi největší globální elektrotechnické koncerny. V řeči čísel je to více než 165 let, kdy koncern Siemens AG mezinárodně působí v oblasti průmyslu, energetiky, zdravotnictví a infrastrukturních řešení pro města a jejich okolí. Vyjmenované oblasti působnosti jsou v současné době organizovány prostřednictvím divizních sekcí. V sekcích, mající působnost po celém světě, pracuje více než 370 000 pracovníků.

Poohlédneme-li se do historie na působnost společnosti Siemens na našem území, musíme záhy dodat, že má zde dlouhou tradici a od minulosti tvoří nedílnou součást českého průmyslu. V průběhu 20. století zde probíhá výstavba několika závodů se zaměřením na vybraná odvětví tehdejšího průmyslu.

V současnosti, s přihlédnutím k počtu zaměstnanců, patří Siemens s 10,5 tisíci k největším zaměstnavatelům v České republice. Společnost nadále poskytuje své technologie, produkty a služby celému spektru zákazníků, ať již jde o soukromý či veřejný sektor. Vliv společnosti na českém trhu jednoznačně dokládají obchodní výkazy, které skupinu podniků Siemens řadí mezi největší exportéry. [Historie Siemens, 2014]

Jeden z centrálních úseků koncernu Siemens reprezentuje Corporate Technology Development Center. Úsek v České republice čítá dvě pracoviště, nacházejících se

v Praze na Stodůlkách a v Brně v Olomoucké ulici. V současné době se skládá z pěti oddělení, kde pracuje přibližně 120 zaměstnanců na více než 20 projektech. Posláním jmenovaného úseku je vývoj hardwaru, softwaru a firmwaru pro interní divize koncernu v zahraničí. Jedním z projektů je i vývoj softwaru Sitraffic smartCore.

Corporate technology dále obsahuje specializovanou testovací a certifikační laboratoř s mezinárodní akreditací.

Trendem dnešní doby je spolupráce s širší veřejností. Proto společnost Siemens a tedy i úsek Corporate Technology klade velký důraz na spolupráci s vysokými školami v Česku. Vypisuje množství bakalářských a diplomových prací, které umožňují studentům prakticky spolupracovat na současných projektech, zabývajícími se jednotlivé divizní úseky. [Procháška, 2014]

Diplomová práce zabývající se tématem analýzy nového softwarového produktu pro návrh signálních plánů je rozčleněna na teoretickou a praktickou část. Záměrem teoretické části je formulovat postup metodiky při návrhu signálního plánu. Tedy určit proces dílčích kroků vedoucích k vybudování světelného signalizačního zařízení, samotnou sestavu signálního plánu až k vložení výsledného programu do řadiče příslušné křižovatky. Část teorie je dále věnovaná metodami určenými k výpočtu signálních dob. Především metodě saturovaného toku, která slouží jako podklad ke srovnání výsledků dosažených softwarem Sitraffic smartCore.

Následující část práce je již praktická. Předně se zabývá popisem softwaru z pohledu dopravního inženýra, respektive uživatele. V této pasáži popisuje uživatelské rozhraní ve fázích návrhu, úmyslem je osvojit si schopnosti efektivní součinnosti se softwarem při sestavě signálního plánu.

Navazující kapitola již popisuje postup jednotlivých dílčích kroků při návrhu signálního plánu spolu s výsledky, kterých bylo dosaženo metodou saturovaného toku a s využitím analyzovaného softwaru.

Na základě dosažených výsledků je snahou v další části práce nalézt možná řešení k rozšíření softwaru a optimalizaci kvality generovaných řešení.

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO ŘEŠENÍ PRÁCE

Teoretická východiska pro řešení práce seznamují s problematikou návrhu signálního plánu. Vybraná část práce popisuje souhrnně celý průběh vybavení křižovatky světelnou signalizací, především popis výpočetních metod sloužící ke konečnému sestavení návrhu signálního plánu.

2.1 Návrh signálního plánu

Potřeba usměrnění dopravního proudu nastává především na silně zatížených pozemních komunikacích v městských aglomeracích. Přístupy se snažíme o zajištění plynulého a bezpečného provozu se zachováním rychlosti a do jisté míry i hospodárnosti. Řídicím prvkem poměrně dobře slouží vybavit lokalitu světelným signalizačním zařízením. Světelné signalizační zařízení se dají rozdělit na technická zařízení, příkladem můžeme zmínit nejrůznější návěstidla a na druhý neméně důležitý prostředek, signální plán. Prostřednictvím signalizačních zařízení je umožněno dát najevo návěst. Signalizačním zařízením je návěst dávana prostřednictvím rozsvícení, popřípadě zhasnutí jednotlivých světelných, barevně odlišených polí. Pro řízení je podstatně důležitější prostředek zmiňovaný signální plán. Jednoduše mu můžeme rozumět jako programu řízení. V něm je zadáno, jak budou příslušná návěstidla v průběhu času pracovat. Určuje tedy pořadí a délku signálů volna v jednotlivých signálních skupinách.

Signální plán rozdělujeme podle způsobu řízení na dvě skupiny. Jsou jimi pevné a dynamické signální plány. Pro vhodné rozhodnutí, který ze jmenovaných způsobů použijeme, bychom měli zvážit na základě dopravní inženýrské studie. Studie by měla obnášet informace zohledňující stávající provozní zařízení, stavební stav komunikací a křižovatek a případné již existující signalizační zařízení. [CDV, 2006, str. 24]

Pevný signální plán pracuje na principu neměnného řízení v časovém období. Zanedbává tedy výrazné krátkodobé výkyvy intenzity dopravy vzniklé například ve špičkových dobách. Předpokládá tedy pouze ustálené intenzity provozu vozidel s možností pouhých dlouhodobých změn. [Křivda, 2009, str. 38] Pevný signální plán využíváme v lokalitách, které splňují zmíněné aspekty malých změn intenzity dopravy v čase. Právě zde se projeví hlavní přínos tohoto druhu řízení reprezentován v podobě provozně technických nákladů, které nejsou relativně vysoké.

Dynamický signální plán přihlíží na možnost řízení zcela opačně. Je přizpůsoben tomu, aby vhodně reagoval na změnu dopravní situace prostřednictvím úprav jednotlivých

signálních dob. Pro zajištění možnosti změny jednotlivých dob je nutné křižovatky řízené dynamickým signálním plánem vybavit prostředky, které budou sloužit pro sběr informací o dopravě a následně po jejich vyhodnocení upravovat signální plán. Ke sběru informací slouží dopravní detektory pracující na různých principech detekce. Pro názornost můžeme jmenovat například detektory ve formě indukčních smyček, systémy videodetekce, mikrovlnné detektory apod. Porovnáme-li obě metody řízení z pohledu nákladů, je zavedení dynamického plánu z důvodu potřeby dalších technických prostředků (detektory) podstatně dražší. Pro snížení celkových nákladů využíváme dynamického řízení pouze na křižovatkách, u kterých dynamické řízení zaznamená zásadní přínos pro účastníky provozu.

Do doby, než se sestavený program řízení implementuje do řadiče světelného signalizačního zařízení, bývá často v prvopočátku signální plán zpracován graficky. Použití grafického zpracování má několik pozitivních vlivů. Je přehledný, stručný a znázorňuje signální obrazy signálních skupin pro všechny účastníky provozu.

Následující část práce se zabývá postupem při návrhu signálního plánu. Návrh signálního plánu využívá následující vzájemně související kroky:

- zpracování podkladů pro návrh,
- návrh fázového schéma,
- výpočet mezičasů pro jednotlivé kolizní směry (prostřednictvím tzv. tabulky mezičasů),
- určení mezičasů pro jednotlivé kombinace fází,
- volba optimálního pořadí fází,
- stanovení délky cyklu a délek jednotlivých fází (zelených) jednou z následujících metod:
 - metoda saturovaného toku,
 - metoda spotřeby času,
 - metoda postupného přibližování (iterační metoda),
- určení kapacit a rezerv vjezdů [Křivda, 2009, str. 67]

Výše uvedené metody, které jsou uvedeny spolu s detailnějším postupem výpočtu v TP 81, nejsou jedinými možnostmi k sestavení signálních dob. Patří však k nejčastěji používaným metodám v praxi. Mezi odlišné přístupy ke stanovení návrhu signálního plánu

jmenujme simulační metody nebo metodu, kdy je návrh zpracován pomocí lineárního matematického modelu.

Autorem posledně zmíněné metody využívající lineárního programování je řešitelský tým někdejšího Výzkumného ústavu dopravního vedený prof. RNDr. Janem Černým, DrSc, Dr.h.c. Hlavní přínos metody spočívá v tom, že řešitel ve výsledku metody dostává jednoznačné informace o začátcích a koncích dob zelených pro jednotlivé proudy, což ostatní metody neumožňují. V nich výpočet většinou končí v okamžiku zisku informací o tom, jak dlouho bude doba zelené pro jednotlivý proud trvat. Dalším argumentem pro využití matematického modelu je i usnadnění sestavení signálního plánu z dosažených výsledků. [Golc, 2012, str. 37]

2.1.1 Podklady pro návrh

Návrhu předchází nutnost mít k dispozici následující podklady:

- přehledná situace v měřítku 1:2000 až 1:5000,
- podrobná situace v měřítku 1:200 až 1:500,
- údaje o intenzitách všech druhů dopravy a o skladbě dopravního proudu,
- výsledky rozboru nehodovosti.

2.1.1.1 Přehledná situace v měřítku 1:2000 až 1:5000

Přehlednou situaci přikládáme k návrhu z důvodů odhalení širších dopravních vztahů. Snahou je zohlednění rozmístění stávajících uzlů na komunikační síti a jejich dosavadní organizace. Lze si povšimnout, že v této fázi je použito poněkud většího měřítka. Toto rozhodnutí má velký vliv na viditelnost stávajících signalizačních zařízení v oblasti návrhu. Interakce stávajících a navrhovaných SSZ může v budoucnu posloužit k propojení do koordinovaných skupin. [Křivda, 2009, str. 67]

2.1.1.2 Podrobná situace v měřítku 1:200 až 1:500

Plán v měřítku 1:200 až 1:500 představuje velmi detailní náhled na lokalitu, zahrnující rozhodující skutečnosti pro návrh. Jsme schopni zde rozlišit komunikace pro motorová vozidla (příp. jízdní pruhy), zjistit provoz chodců a cyklistů. Dále získáme informace i o přilehlé zástavbě, místech, kde se nacházejí vjezdy, výjezdy, stromy a ostatní zeleň, sloupy veřejného osvětlení, hydranty, šachty, stávající dopravní značení a dopravní zařízení. Podrobná situace má také zpřístupnit odpovědi týkající se sklonových poměrů v lokalitě. [CDV, 2006, str. 19]

2.1.1.3 Údaje o intenzitách všech druhů dopravy a o skladbě dopravního proudu

Informace o silniční dopravě se získávají prostřednictvím dopravních průzkumů. Před samotnou realizací průzkumu je důležité stanovit, za jakým účelem dopravní průzkum provádíme. Podle účelu dále volíme rozsah, požadovanou přesnost, dobu realizace a metodu vypracování. Detailnější popis postupu realizace dopravního průzkumu můžeme nalézt v TP 189 zabývající se stanovením intenzit dopravy na pozemních komunikacích.

Vyhodnocením průzkumu získáme výstupy v podobě kartogramu, respektive pentlogramu. V těchto nástrojích snadno zjistíme zatížení jednotlivých směrů křižovatky v čase. V dopravních špičkách, reprezentujících nejzatíženější denní dobu, a v sedlech,

značících opak. Dále nabýváme informace o případném týdenním průběhu intenzity dopravy, skladby dopravního proudu a údaje o intenzitách chodců a cyklistů.

2.1.1.4 Výsledky rozboru nehodovosti

K ucelenému rozboru zmíněné problematiky je nutné využít dostatečné množství dostupných informací o dopravních nehodách. Jako výchozí dokumenty slouží výsledky a rozborů statistiky počtu dopravních nehod za určité časové období. Širší veřejnosti jsou dokumenty dostupné prostřednictvím Policie ČR, která vytváří souborná data reprezentující nehodovost na pozemních komunikacích v předcházejícím kalendářním roce. Časové období by mělo být použito v horizontu několika předcházejících let provozu silniční dopravy ve sledované lokalitě. Z dostupných analýz zjistíme počet dopravních nehod a také následky, které vznikly prostřednictvím nehodové události. [CDV, 2006, str. 19]

K výsledkům rozboru nehodovosti napomáhají i výsledky plynoucí z kolizního diagramu. Diagram je nástroj pro získání komplexní představy o vzniklých nehodách na sledovaném místě. Jednotlivé nehody jsou prostorově zaznačeny do situačního plánu pomocí stanovených symbolů, které konkretizují významné informace. Ty se získávají a uvádějí v diagramech.

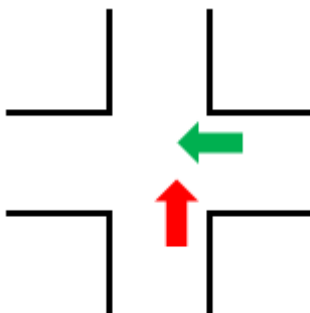
2.1.2 Návrh fázového schéma

Dokončíme-li etapu návrhu, zabývající se zpracováním podkladů a průzkumů, je možno postoupit k rozdělení fází.

Fází nazýváme časový interval, ve kterém mají současně signál volno zpravidla vzájemně nekolizní dopravní pohyby na křižovatce. [Křivda, 2009, str. 68] K rozdělení dopravních pohybů v jednotlivých fázích slouží fázové schéma. To je formulováno jako přiřazení dopravních pohybů jednotlivým fázím a stanovení nejvýhodnějšího pořadí fází.

Při přidělování dopravních proudů do jednotlivých fází, využíváme následujících dopravních pohybů:

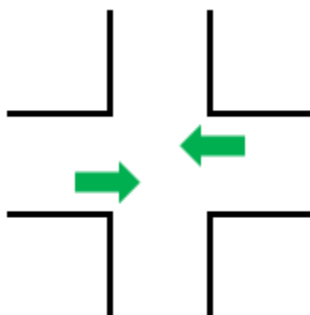
- kolizní dopravní pohyby – jsou ty vzájemné pohyby vozidel nebo vozidel a chodců na místech řízených světelným signalizačním zařízením, které se střetávají, kříží nebo připojují,



Zdroj: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz-kapacita.htm> (upraveno)

Obr. 1 Kolizní dopravní pohyb

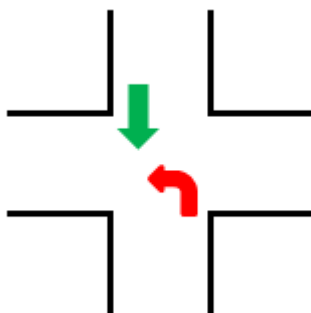
- bezkolizní dopravní pohyby – jsou ty dopravní pohyby, které se v rámci dané křižovatky nemohou spolu střetávat, křížit ani připojovat, možnou výjimku tvoří pouze podmíněně kolizní dopravní proudy.



Zdroj: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz-kapacita.htm> (upraveno)

Obr. 2 Bezkolizní dopravní pohyb

- podmíněně kolizní dopravní pohyby – těmito dopravními pohyby v rámci jedné fáze mohou být ty, pro něž platí pravidlo o přednosti v jízdě podle zákona č. 361/2000 Sb. Zákon o silničním provozu, ve znění pozdějších předpisů. Příkladem uvedme levé odbočení s přímou jízdou protijedoucích vozidel, kdy je stanovena přednost právě protijedoucím vozidlům. [Křivda, 2009, str. 70]



Zdroj: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz-kapacita.htm> (upraveno)

Obr. 3 Podmíněně kolizní dopravní pohyb

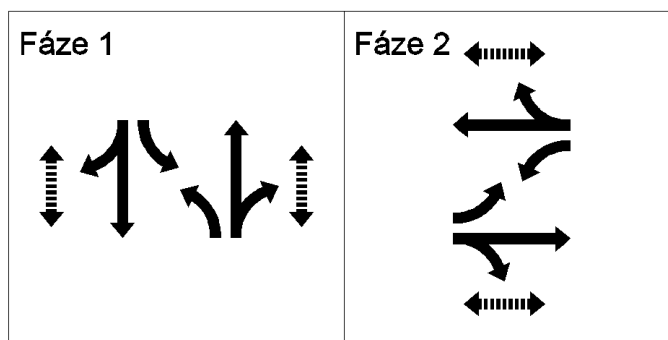
Pro jednotlivé fáze platí následující pravidla a doporučení dle TP 81:

- dopravní proudy z identického vjezdu mohou časově za sebou v různých fázích následovat pouze v předpokladu, jsou-li na vjezdu do křižovatky prostorově odděleny v jízdních pruzích,
- nemají-li současně nekolizní dopravní proudy na vjezdu signál volno, musí být poté řízeny pomocí návěstidla se směrovými signály; při zajištění zřejmého stavebního oddělení do jednotlivých směrů je dovoleno použít i návěstidla s plnými signály,
- dopravní proud reprezentující odbočení vlevo či vpravo při akceptaci použití směrového signálu, nesmí být kolizní s žádným dopravním proudem s výjimkou chodců ve volném směru; nastává-li tato situace, je nutno směrový signál doplnit technickým prostředkem varující na tuto vzniklou situaci (doplnění žlutého světla ve tvaru chodce),
- mají-li se signály volno pro tramvaje (respektive pro vyhrazený jízdní pruh pro vozidla MHD) a ostatní vozidla od sebe odlišit, musí být řízeny tramvajovými návěstidly. [Křivda, 2009, str. 70 – 71]

Počet fází vychází z rozdělení dopravních pohybů na křižovatce. Záleží tedy na uvážení řešitele, jak rozdělí dopravní pohyby a kolik použije fází. Pro světelně řízenou křižovatku je minimální počet fází dvě. Použijeme-li dvě fáze, zajistíme tímto poměrně dobré využití kapacity křižovatky, dále tímto zkrátíme ztrátové časy vznikající mezi přechody jednotlivých fází a i celkové zdržení vozidel. Pokud je tedy možné, snažíme se využít právě dvou fází. V reálných podmínkách se ale vinou dopravní situace setkáváme s vyšším počtem fází, i přes některá negativa, se pro ně rozhodujeme především z důvodu snížení počtu výskytu vzájemně podmíněně kolizních proudů. Tímto rozhodnutím snižujeme riziko vzniku konfliktů. Pro získání dokonale bezkolizního řízení je nutné na průsečných křižovatkách použít fází čtyř a na tříramenných fázích tří. [CDV, 2006, str. 20]

Při tvorbě fázového schématu vycházíme ze situačního plánu, geometrických poměrů na křižovatce, z organizace dopravy a zjištěných intenzit. Fázová schémata mohou být následující:

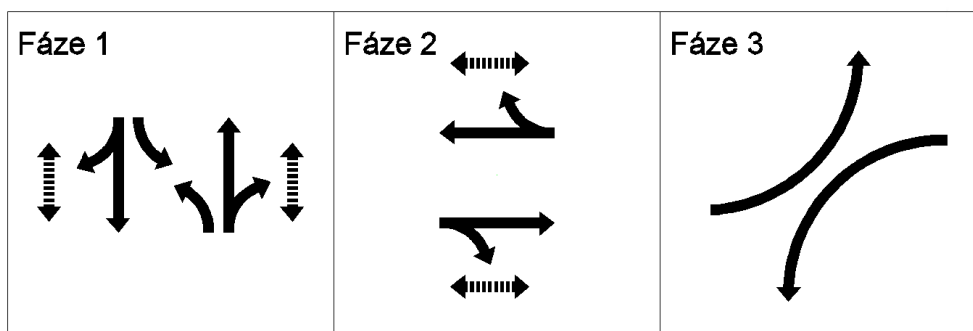
- fázové schéma se dvěma fázemi,



Zdroj: převzato z: Křivda, 2009, str. 69 (upraveno)

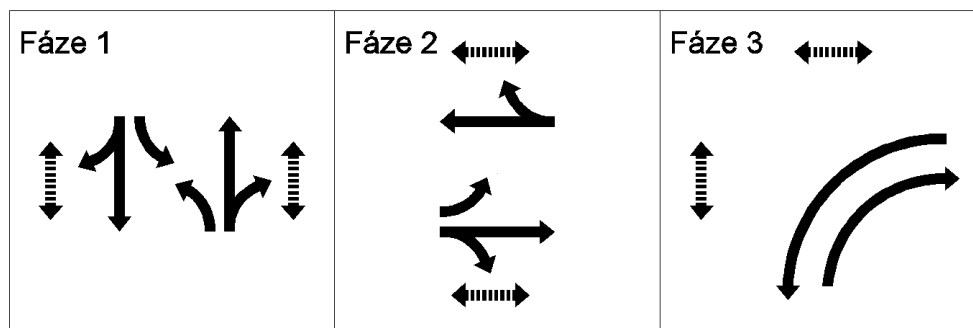
Obr. 4 Příklad dvoufázového schématu

- fázové schéma se třemi fázemi,



Zdroj: převzato z: Křivda, 2009, str. 69 (upraveno)

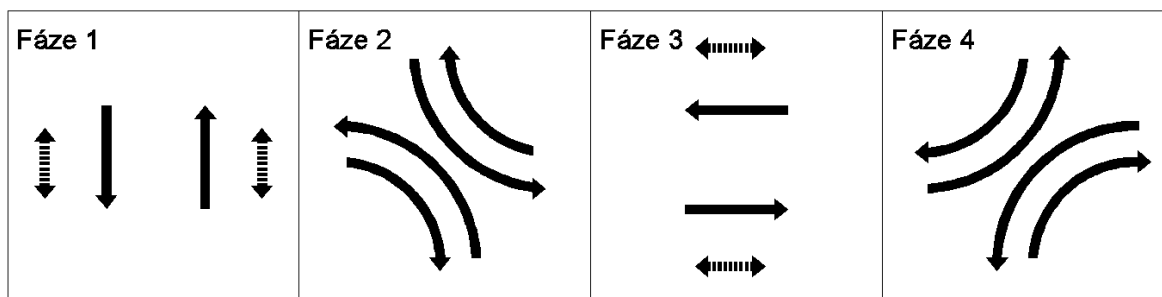
Obr. 5 Příklad třífázového schématu



Zdroj: převzato z: Křivda, 2009, str. 69 (upraveno)

Obr. 6 Příklad třífázového schématu

- fázové schéma se čtyřmi fázemi.



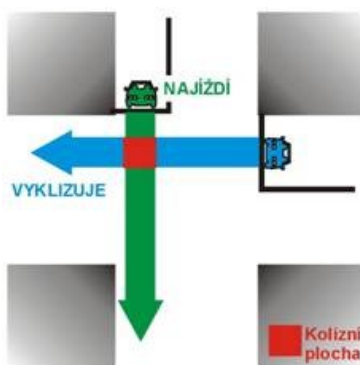
Zdroj: převzato z: Křivda, 2009, str. 69 (upraveno)

Obr. 7 Příklad třífázového schématu

2.1.3 Výpočet mezičasů pro jednotlivé kolizní směry

Pro zachování bezpečného vstupu účastníků do prostoru křižovatky slouží mezičasy. Mezičasem rozumíme interval od konce signálu volno na návěstidle pro jeden směr po začátek signálu volno na návěstidle pro kolizní směr. [Křivda, 2009, str. 72]

Velikost mezičasu je možné si představit jako dobu, kterou je nutno zachovat pro jednotlivé kolizní proudy, aby bylo umožněno poslednímu vozidlu (vyklízející vozidlo), které projíždí profilem stopčáry v končící době signálu volno, celou svou délkou bezpečně opustit kolizní plochu dříve, než první vozidlo (najížděcí vozidlo), jedoucí v době signálu volno v kolizním směru, této plochy dosáhne. Kolizní plochou nazýváme tu část plochy komunikace, kde se dráha vyklízejícího vozidla, popřípadě chodce, střetává s dráhou najíždějícího vozidla případně chodce. [CDV, 2006, str. 22] Popisovaná situace je nastíněna následovně:

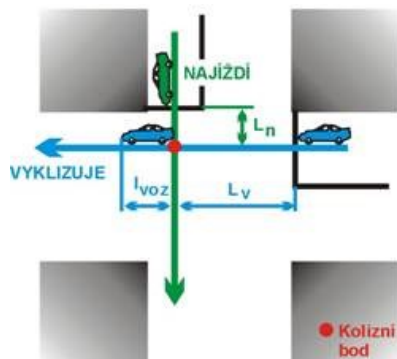


Zdroj: <http://kds.vsb.cz/ord/ssz-mezicas.htm>

Obr. 8 Kolizní plocha

V některých výjimečných situacích, především ve snaze zjednodušit výpočet, je možné kolizní plochu zanedbat a znázornit jí formou kolizního bodu. Zanedbáním využití

kolizních ploch při výpočtu výsledného mezičasu mezi kolizními proudy vědomě snižujeme přesnost výsledku. Akceptujeme-li použití kolizního bodu, můžeme zjednodušeně zakreslit najížděcí a vyklizovací dráhu následovně:



Zdroj: <http://kds.vsb.cz/ord/ssz-mezicas.htm>

Obr. 9 Kolizní bod

Výsledný mezičas t_m vypočteme podle následujícího vztahu:

$$t_m = t_v - t_n + t_b = \frac{L_v + l_{voz}}{v_v} - \frac{L_n}{v_n} + t_b \quad [s] \quad [1]$$

kde:

- t_v – vyklizovací doba [s],
- t_n – najížděcí doba [s],
- t_b – bezpečnostní doba [s],
- L_v – vyklizovací dráha [m],
- l_{voz} – délka vozidla [m],
- v_v – vyklizovací rychlost [m/s],
- L_n – najížděcí dráha [m],
- V_n . najížděcí rychlost [m/s].

Po zjištění všech potřebných mezičasů s nimi dále pracujeme. Pro usnadnění je zapisujeme do tzv. tabulky mezičasů. Tabulka je sestavena z řádků reprezentujících vyklizující dopravní proudy, ve sloupci jsou naopak vyobrazeny dopravní proudy najížděcí. V sestavené tabulce odečítáme hodnoty prostřednictvím průniku polí jednotlivých proudů.

Při znalosti rozdělení dopravních proudů do jednotlivých fází a příslušných mezičasů mezi dopravními proudy je možné přistoupit k nalezení optimálního sledu fází. Zde je nutno si uvědomit, že vzhledem k tomu, že v každé fázi se objevuje více dopravních proudů a tedy i kolizních ploch, je poté nutno nalézt tzv. rozhodující mezičas. Rozhodující

mezičas je dán jako nejvyšší hodnota mezi jednotlivými kolizními proudy při přechodu dané fáze. [CDV, 2006, str. 22]

Konečné pořadí fází může být ovlivněno následujícími hledisky:

- určité fáze musí probíhat za sebou, aby na sebe plynule navazovaly signály volno, které jsou v těchto fázích,
 - určité dopravní směry musí následovat po sobě, aby na křižovatce nevznikalo zdržení z důvodu nakupení vozidel,
 - pořadí fází může ovlivnit požadovaný sled dob signálů volno pro chodce nebo cyklisty, aby mohli přejít dělený přechod plynule,
 - pořadí fází může určovat požadavek koordinace signálních plánů sousedních křižovatek nebo preference vozidel městské hromadné dopravy.
- [Křivda 2009, str. 71]

Pokud nám nenarušují vyjmenovaná hlediska konečné pořadí fází, je snahou nalézt takové pořadí, které zajistí minimální součet mezičasů dané fáze. Výběrem právě takového schématu minimalizujeme neproduktivní časové ztráty, které mají za následek nadbytečné prodloužení doby cyklu.

2.1.4 Stanovení délky cyklu

Délku cyklu stanovíme pomocí jedné z využívaných analytických metod. Jedná se o metody saturovaného toku, spotřeby času nebo iterační metodou. Délky cyklu dosáhneme podle předem stanovených dílčích kroků, ze kterých jsou metody sestaveny.

Výsledná délka cyklu, kterou je nutno pro zajištění správného řízení provozu dodržet, můžeme stanovit jako součet nutných dob signálů volno a rozhodujících mezičasů k těmto signálům. Délka cyklu je dána vztahem: [CDV, 2006, str. 22]

$$C = \sum_i t_{zi} + \sum_i t_{mi} \quad [2]$$

kde:

i – pořadí fáze [-],

t_{zi} – nutná doba zelené fáze [s],

t_{mi} – rozhodující mezičas mezi po sobě následujícími fázemi [s].

Získané hodnoty délky cyklu by měly orientačně nabývat hodnot z těchto intervalů:

- | | |
|-------------------------|--------------|
| ▪ minimální délka cyklu | 30s, |
| ▪ optimální délka cyklu | 50s až 80s, |
| ▪ maximální délka cyklu | 100s (120s). |

Během výpočtu délky cyklu pracujeme také s tzv. okrajovými podmínkami. Jejich úkolem je stanovit nejnižší přípustné hodnoty jednotlivých druhů signálů.

Pro signální doby je platné následující ustanovení. Minimální délka signálu volno objevující se na světelných návěstidlech platící pro všechny účastníky na křižovatce je 5s.

Další vyskytující se signál pro signální doby je pozor. Je zprostředkováván pomocí rozsvícení žlutého signálu. Ten je omezen pro vozidla dobou 3s a pro cyklisty dobou 2s. U současně svítícího červeného a žlutého signálu je doba pro motoristy a cyklisty rovna 2s.

Vyjma nejnižších hodnot signálních dob, vyplývají z letitých zkušeností i doby doporučené. Ty radí, aby při použití pevného signálního cyklu byla doba pro motorová vozidla v hlavním přímém směru alespoň 12s, ve vedlejším přinejmenším 8s. Objevují-li se v křižovatce směrové signály pro odbočení vlevo, má být doba volna pro tento směr také alespoň 8s.

U chodeckých proudů, které jsou spjaty s pohybem na křižovatkách, by měla být doba zelené alespoň taková, aby chodec během signálu volno přešel 2/3 přechodu, nejméně však 1/2 přechodu. Kříží-li se vozidlový a chodecký proud, tato situace nastává především při odbočení, měly by doby začátků těchto vybraných zelených signálů být uzpůsobeny tak, aby byl právě chodec v místě kolizní plochy s předstihem. Tímto předpokladem se výrazně zvýší bezpečnost chodců, jelikož řidič s předstihem pozoruje osoby na přechodu pro chodce. Je zde eliminováno, že by chodec nečekaně vstoupil na kolizní plochu. Doba, o kterou by chodec měl být dříve vpuštěn do křižovatky je 1-2s. [CDV, 2006, str. 22 - 23]

Všechny výše uvedené okrajové podmínky a doporučené doby trvání jednotlivých signálů jsou platné pro území ČR.

2.1.5 Posouzení kapacity světelně řízené křižovatky

Kapacitní posouzení je důležitý článek, který může pomoci objevit nedostatky navrženého signálního plánu. Je možné si jej představit jako kontrolní prvek, který je založen na zisku informací v řešené lokalitě prostřednictvím zajištění úrovně kvality dopravy. O dostatečné kapacitě světelně řízené křižovatky hovoříme v případě, kdy jsou na všech vjezdech splněny příslušná kritéria úrovně kvality dopravy. [Martolos, 2011, str. 43] Kapacita křižovatky je podmíněna kapacitou v každém střetném bodu, ve kterém dochází ke křížení, spojení nebo rozpojení dopravních proudů.

Posuzování kapacity se provádí na všech nových, stávajících či rekonstruovaných stykových a průsečných křižovatkách, pro které platí, že jsou řízeny světelnými signalizačními signály.

Metodika pro posuzování kapacity světelně řízených křižovatek, která je popsána v technických podmínkách TP 235 využívá teoretický model vycházející z Webstrový metody saturovaného toku. [Martolos, 2006, str. 5]

Proces kapacitního posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235 lze souhrnně rozdělit do následujících kroků:

- zpracování podkladů:
 - návrhové intenzity dopravy,
 - geometrické uspořádání křižovatky,
 - signální plán,
- stanovení úrovně kvality dopravy,
- posouzení kapacity světelně řízené křižovatky
 - saturovaný tok vjezdu,
 - kapacita vjezdu,
 - rezerva kapacity,
 - délka řadících pruhů.

Výše uvedené dílčí postupy budou v další části slovně přiblíženy a okomentovány.

2.1.5.1 Návrhové intenzity dopravního proudu

Budoucí předpokládanou intenzitu na křižovatce odhadujeme pomocí matematických metod prognózování intenzit dopravy, alternativou je využití metody jednotného součinitele růstu. Hlavním rozdílem mezi metodami je, že při využití metody jednotného

součinitele růstu intenzit dopravy opomíjíme podstatný vliv, kterým je samotná poloha v území. Opak tvoří matematický model zatížení, který již zohledňuje faktory ovlivňující vznik dopravních vztahů v území. Při kapacitním posouzení křižovatky potřebujeme určit návrhové intenzity dopravy pro všechny dopravní pohyby. V obou případech je nutné rozlišit druh vyskytujících se vozidel.

Samotný výpočet spočívá v přepočtu současné hodnoty intenzity dopravy zjištěné při dopravním průzkumu pomocí přepočtových koeficientů.

2.1.5.2 Geometrické uspořádání křižovatky

Chceme-li využít tuto metodu, vyžaduje se znalost geometrického uspořádání křižovatky, především se jedná o následující prvky:

- počet a uspořádání křižovatkových paprsků,
- podélný sklon vjezdů,
- počty a délky řadících pruhů,
- poloměry oblouků pro odbočení,
- počet míst k najezení do křižovatky a zastavení vozidla při dávání přednosti protijedoucím vozidlům odbočující vlevo. [Martolos, 2006, str. 40]

2.1.5.3 Signální plán

S realizací světelně řízené křižovatky, máme k dispozici stávající, popřípadě nově navržený signální plán. Pro potřebu výpočtu kapacity jsou určující následující údaje signálního plánu:

- počet a pořadí fází,
- přiřazení signálních skupin do jednotlivých fází,
- délka cyklu,
- délky jednotlivých zelených signálů. [Martolos, 2006, str. 40]

Na základě znalostí skutečné délky zelených signálů (z), se u kapacitního výpočtu využívá efektivní délky zelené. Ta se určí podle vztahů uvedené níže v tab. 1.

Délka zeleného signálu z [s]	Délka efektivní zelené z' [s]
5 - 7	$z + 1,0$
8 - 10	$z + 0,5$
≥ 11	z

Zdroj: převzato z: Martolos, 2011, str. 41

Tab. 1 Délka efektivní zelené

2.1.5.4 Úrovně kvality dopravy

Na každé světelně řízené křižovatce předpokládáme v závislosti na druhu jejího výskytu a vzhledem ke kategorizaci komunikace určitou míru úrovně kvality dopravy. Tato kvalita je sledována prostřednictvím kritéria ztrátového času. Ztrátový čas vyjadřujeme za pomoci střední doby zdržení na jednotlivých vjezdech do křižovatky. Mezní hodnoty tohoto zdržení, za předpokladu zajištění stupně úrovně kvality dopravy, jsou podle přílohy A ČSN 73 6102 uvedeny v tab. 2:

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení $t_{w,lim}$ [s]
Označení	Charakteristika kvality dopravy	
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní čas	> 70
F	Překročena kapacita	-
UKD na stupni F je dosažena při rezervě kapacity vjezdu $Rez \leq 0$		

Zdroj: převzato z: Martolos, 2011, str. 13

Tab. 2 Mezní hodnoty střední doby zdržení na vjezdu do světelně řízené křižovatky

Limitní časy pro zajištění stupně úrovně kvality dopravy jsou známy, nyní je potřeba rozlišit mezní hodnoty vztažené k druhu pozemní komunikace. Následující rozdělení

rozčleňuje norma ČSN 73 6102, která stanovuje vzhledem ke křižovatkám tyto stupně dopravy pro:

- | | |
|--|-----------|
| ▪ dálnice, rychlostní silnice a silnice I. třídy | stupeň C, |
| ▪ silnice II. třídy | stupeň D, |
| ▪ silnice III. třídy | stupeň E, |
| ▪ rychlostní místní komunikace a přechodové úseky | stupeň D, |
| ▪ místní komunikace a veřejně přístupné účelové komunikace | stupeň E. |

2.1.5.5 Postup při kapacitním výpočtu světelně řízené křižovatky

K zajištění správného postupu při kapacitním posouzení, předkládají TP 235 pracovní postup. Pro zachování určité míry přehlednosti a orientace při výpočtu zapisujeme jednotlivé výpočtové kroky do předpřipraveného protokolu. Některé vybrané součásti tvoří samostatnou přílohu, kterou je možné doložit k výslednému protokolu.

Metoda posouzení, popsána v technických podmínkách TP 235, doporučuje pracovní postup v následujících krocích:

1. Specifikace křižovatky a posuzovaného stavu.
2. Zjištění návrhových intenzit všech dopravních proudů a zohlednění skladby dopravního proudu.
3. Zjištění geometrického uspořádání křižovatky a stanovení saturovaných toků jednotlivých toků jednotlivých řadících pruhů podle TP 235.
4. Zjištění příslušných časů ze signálního plánu:
 - délka zeleného signálu pro všechny vjezdy,
 - délka zeleného signálu v protisměru a délka části zeleného signálu neovlivněná protisměrem pro vjezdy tvořené samostatným řadícím pruhem pro levé odbočení ovlivněné protisměrem,
 - délka cyklu.
5. Pro vjezdy tvořené samostatným řadícím pruhem pro levé odbočení ovlivněné protisměrem:
 - stanovení příslušné návrhové intenzity dopravy v protisměru,
 - stanovení příslušného saturovaného toku protisměru a saturovaného toku pro levé odbočení,
 - zjištění počtu míst k njetí do křižovatky,
 - výpočet dílčích kapacit levého odbočení,
 - výpočet kapacity levého odbočení ovlivněné protisměrem.
6. Pro všechny vjezdy:
 - stanovené příslušné návrhové intenzity dopravy na vjezdu,
 - stanovení příslušného saturovaného toku vjezdu,
 - výpočet kapacity vjezdu,
 - výpočet rezerv kapacity vjezdu.
7. Pro vjezdy s kladnou nebo nulovou rezervou kapacity vjezdu výpočet průměrné délky fronty na začátku zeleného signálu.

8. Pro vjezdy se zápornou rezervou kapacity vjezdu výpočet délky fronty na konci návrhové hodiny.
9. Pro všechny vjezdy:
 - výpočet střední doby zdržení,
 - stanovení dosaženého stupně UKD a porovnání s požadovanou UKD.
10. Slovní závěr posouzení:
 - naplnění požadavků úrovně kvality dopravy a délky řadících pruhů na vjezdech,
 - další ovlivňující faktory kapacity křižovatky (např. vliv chodců, cyklistů, geometrického uspořádání křižovatky, dynamického řízení, koordinace se sousedními křižovatkami, apod.).
11. V případě, že křižovatka kapacitně nevyhoví, lze postupovat úpravou signálního plánu nebo zvýšením počtu jízdních pruhů. Pokud nelze nalézt řešení v podobě světelně řízené křižovatky, bude nutné uvažovat buď o změně organizace dopravy v přilehlém území, kterou se dosáhne snížení návrhových intenzit dopravy nebo o přestavbě na mimoúrovňovou křižovatku.
[Martolos, 2006, str. 13 – 14]

2.2 Metoda saturovaného toku

K popisu metody saturovaného toku je využito TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích, kde je této metodě věnovaná část přílohy B.

Metoda bývá také označována jako Webstrova metoda. Pojem saturace znamená nasycení. Jak již samotný název napovídá, principem metody je stanovení délky cyklu a signálů volno v závislosti na stupních saturace vjezdů v jednotlivých fázích. Doba nazývaná jako tzv. základní výpočtové období sloužící pro návrh signálního plánu i kapacitní posouzení je v trvání jedné hodiny.

Ve výpočtu pracujeme se saturovaným tokem. Saturovaný tok je definován jako nejvyšší počet vozidel, která mohou projet profilem stopčáry za jednotku času při ideálních podmínkách. Hodnota veličiny je vyjádřena v jednotkových vozidlech za hodinu [v.h^{-1}].

Velikost saturovaného toku je závislá na geometrickém uspořádání křižovatky ve vybrané lokalitě. Závisí především na šířce vjezdu, podélném sklonu, poloměru oblouku a také podílu odbočujících vozidel.

Saturovaný tok závislý pouze na dopravních poměrech nazýváme základní saturovaný tok řadičího pruhu. Hodnoty základního saturovaného toku se zpravidla po posouzení snižují. Aspekty snižování jsou obvykle geografická poloha s ohledem na region, počet světelně řízených křižovatek v obci a také zkušenost společně s chováním místních řidičů.

V následujícím postupu se stanoví základní saturovaný tok vjezdu. V průběhu výpočtu metoda pracuje s výslednou hodnotou saturovaného toku vjezdu. Hodnota reprezentuje základní saturovaný tok násobený příslušnými koeficienty oblouku a sklonu. Při znalosti saturovaného toku vjezdu a intenzity dopravy se pro všechny vjezdy s automobilovou dopravou určí stupeň saturace. Z výsledného fázového schématu lze po výpočtu stupňů saturace nalézt kritický vjezd každé fáze. Kritickým vjezdem nazveme takový vjezd, který nabývá nejvyšší hodnoty stupně saturace.

Délku cyklu metoda stanovuje na základě vstupních parametrů ve formě celkového stupně saturace a celkového ztrátového času. Celkový stupeň saturace udává součet stupně saturace kritických vjezdů z jednotlivých fází. Ztrátový čas v každé fázi je doba

mezi koncem efektivní zelené v dané fázi a začátku efektivní zelené ve fázi, která ji následuje.

Ziskem délky cyklu je možné přistoupit k výpočtu potřebné délky zeleného signálu pro kritický vjezd ve fázi.

Podrobnější popis metody společně s výpisem použitých vzorců je uveden v příloze 1.

2.3 Metody založené na matematickém programování

S metodami založenými na matematickém programování, jak již bylo zmíněno, pracovali v minulosti výzkumní pracovníci v Žilině pod vedením prof. RNDr. Jana Černého, DrSc., Dr.h.c. Ústředním problémem v době vzniku metody byly především omezené možnosti výpočetní techniky. Proto byl výzkumný tým nucen řešit souhrnný návrh signálního plánu ve třech oddělených podúlohách. [Golc, 2012, str. 34]

Účelem první podúlohy je vytvořit fáze, jejichž prostřednictvím budou do křižovatky vstupovat jednotlivé dopravní proudy. Podúloha je dále rozdělena na dvě části.

V první z nich vyhledáváme maximální podmnožinu nekolizních proudů. Při prohledávání maximálních podmnožin využíváme poznatků z teorie grafů. Nejsou-li křižovatky příliš náročné, lze úlohu vyřešit prohledáním grafu bezkoliznosti.

V opačném případě k vyhledání maximálních podmnožin nekolizních proudů využijeme přístup založený na úloze o barvení grafu, jehož autorem je doc. RNDr. Štefan Peško, CSc.

V druhém kroku podúlohy vytváříme již výsledné fáze křižovatky. Z výsledné množiny získané aplikací prvního kroku vybíráme minimální počet podmnožin. Při řešení úlohy pečlivě sledujeme, zda každý dopravní proud vstupující do křižovatky je obsažen alespoň v jedné z výsledných fází. Tímto pozorováním zajistíme, že během doby cyklu, za použití vybraného fázového schématu, vstoupí do křižovatky všechny dopravní proudy. K tomuto kroku byl v minulosti vytvořen model lineárního programování. Tvar modelu je uveden níže.

Záměrem druhé podúlohy je zajistit optimální seřazení vybraných fází. Rozhodujícím kritériem je součet rozhodujících mezikasů, které dále chceme minimalizovat. Snižujeme tedy celkový neproduktivní čas křižovatky během jednoho cyklu. K optimálnímu seřazení fází lze využít Littlův algoritmus pro vyhledání minimální Hamiltonovy kružnice v obyčejném digrafu.

V pořadí poslední podúloha stanovuje výsledné signální doby, přesněji časy začátků a konců zelených signálů pro všechny proudy v průběhu cyklu. K získání signálních dob zelených je použit model lineárního programování s příslušným optimalizačním kritériem. Struktura modelu obsahuje optimální seřazení vybraných fází získaných v podúloze. [Golc, 2012, str. 35]

2.3.1 Výběr minimálního počtu fází pomocí matematického modelu

Matematický model má dvě varianty. Společnými prvky variant jsou množiny proudů I , kde pro každý proud I je definována množina fází, která jej obsahuje. Množina bývá označována jako J_i . V druhé variantě se ke vstupním údajům přidává tzv. proudově-fázová incidenční matice. Označit ji můžeme např. A . Prvky matice jsou tvořeny hodnotami 0 a 1. Nabývá-li prvek matice $a_{ij} = 1$, znamená to, že daný proud i patří do množiny proudů I je zařazen do fáze $j \in J$. Pokud $a_{ij} = 0$, jedná se o opak, a můžeme konstatovat, že daný proud i patří do množiny proudů I není zařazen do fáze $j \in J$.

První varianta matematického modelu:

$$\min f(Z) = \sum_{j \in J} Z_j \quad [3]$$

za podmínek:

$$\sum_{j \in J} Z_j \geq 1 \quad \text{pro } i \in I \quad [4]$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad \text{pro } j \in J \quad [5]$$

Funkce [3] představuje optimalizační kritérium. Dále se v modelu vyskytuje skupina omezujících podmínek [4], ty mají zajistit, aby každý dopravní proud byl obsažen alespoň v jedné vybrané fázi. Podmínka je stanovena pro každý proud. Druhou skupinou omezujících podmínek [5] jsou obligatorní podmínky, vymezující definiční obory proměnných. [Golc, 2012, str. 45]

Druhá varianta matematického modelu:

$$\min f(Z) = \sum_{j \in J} Z_j \quad [6]$$

za podmínek:

$$\sum_{j \in J} a_{ij} \cdot Z_j \geq 1 \quad \text{pro } i \in I \quad [7]$$

$$Z_j \in \{0,1\} \quad \text{pro } j \in J \quad [8]$$

2.3.2 Výpočet signálních dob s využitím matematického modelu

K realizaci rozhodovacího procesu v modelu dle zadání úlohy musí být do modelu začleněny následující proměnné:

x_i	začátek doby zelené pro proud $i \in I$
y_i	konec doby zelené pro proud $i \in I$
u	minimální poměrná rezerva
c	délka cyklu [Golc, 2012, str. 38]

Pro proměnné modelující začátky a konce dob zelených pro proudy vstupujících do křižovatky, využijeme definičních oborů množiny nezáporných nebo celých nezáporných čísel. Pro proměnnou u reprezentující minimální poměrnou rezervu, která udává poměrnou rezervu mezi nabízenou dobou zelené za cyklus a požadovanou délkou zelené za cyklus, využijeme definiční obor množinu nezáporných čísel.

Matematický model má následující tvar:

$$\min f(c) = c \quad [9]$$

za podmínek:

$$y_i - x_i \geq t_i \quad \text{pro } i = 1, \dots, p \quad [10]$$

$$y_i - x_i \geq \frac{\tau_i \cdot q_i \cdot c \cdot u}{3600} \quad \text{pro } i = 1, \dots, p \quad [11]$$

$$x_j - y_i \geq m_{ij} \quad \text{pro } P_i \in F_i, P_j \in F_j \text{ je-li } m_{ij} > 0 \quad [12]$$

$$x_j - y_i \geq m_{ij} - C \quad \text{pro } P_i \in F_i, P_j \in F_j \text{ je-li } m_{ij} > 0 \quad [13]$$

$$y_i \leq c \quad \text{pro } i = 1, \dots, p \quad [14]$$

$$x_i \geq 0 \quad \text{pro } i = 1, \dots, p \quad [15]$$

$$y_i \geq 0 \quad \text{pro } i = 1, \dots, p \quad [16]$$

$$c \geq 0 \quad [17]$$

Pro nabytí přehledu o významu jednotlivých skupin omezujících podmínek nacházejících se v modelu budou výše uvedené skupiny podmínek detailněji slovně popsány.

Funkce [9] má v modelu úlohu reprezentovat optimalizační kritérium. Skupina omezujících podmínek [10] má za úkol zajistit, aby pro každý vyskytující se dopravní proud neklesla hodnota doby zelené za cyklus pod hodnotu minimální doby zelené, kterou příslušnými podmínkami vyžadujeme. Následující skupina omezujících podmínek [11] má rozhodující úlohu ve stanovení délky zeleného signálu za cyklus. Levá strana nerovnice obsahuje proměnné modelující konec doby zelené, od kterého následně odečítáme počátek doby zelené. Pravá strana kombinuje proměnnou modelující délku cyklu s počátečními konstantami. Tato strana má zabezpečit, aby nabízená doba zelené za cyklus byla minimálně rovna požadované době zelené. Podmínka je sestavována pro každý dopravní proud vstupující do křižovatky. Následující dvě skupiny omezujících podmínek [12, 13] musí zabezpečit, že časové odstupy (mezičasy) mezi koncem zelené pro vybraný proud a začátkem zelené pro kolizní proud nebudou nabývat menších hodnot, než je požadováno. Druhá zmíněná skupina podmínek má zajistit taktéž potřebné doby odstupů mezi vzájemně kolizními proudy, v tomto případě při fázovém přechodu na hranici cyklu. Počet podmínek pro dodržení mezičasu je závislý na rozdělení dopravních pohybů na křižovatce. Přesněji odpovídá počtu kolizních proudů při jednotlivých fázových přechodech. Skupina podmínek [14] pro proměnné, modelující konec doby zelené pro jednotlivé proudy má zajistit, aby příslušné konce nastaly nejpozději na konci cyklu. [Golc, 2012, str. 40]

K uvedenému modelu existuje také alternativní varianta, kdy v účelové funkci se vyskytuje minimální poměrná rezerva u . V této diplomové práci není alternativní varianta uvedena, jelikož se s ní při sestavení signálního plánu sloužícího k porovnání dále nepracovalo.

3. ANALÝZA SOFTWARE Z POHLEDU DOPRAVNÍHO INŽENÝRA

3.1 Popis softwaru Sitraffic smartCore

Sitraffic smartCore je specializovaný software vyvinutý společností Siemens sloužící jako nástroj pro tvorbu signálních plánů. Signálním plánem nazýváme program k řízení dopravy v křižovatkách vybavených světelnou signalizací. Sitraffic smartCore umožňuje pracovat s principy pevného i dynamického řízení dopravy. Lze tedy usuzovat, že nabízí široké množství využití v řadách dopravních kanceláří.

Produkt je primárně zamýšlen pro návrh signálních plánů na méně komplikované křižovatky v rozlehlejších obcích, menších městech a jeho okolí. Tomuto konceptu je přizpůsobeno i ovládání uživatelského rozhraní softwaru. Při práci v Sitraffic smartCore je patrné úsilí vývojářů o vytvoření uživatelsky přívětivého, co možná nejjednoduššího, stručného a přehledného rozhraní. K efektivní práci má budoucímu uživateli napomoci rovněž i grafická vizualizace řešené křižovatky ve vybrané lokalitě. Jednoduchý koncept v sobě má i další pozitivum ve formě možnosti rychlé změny jakéhokoliv z prvků křižovatky, který má vliv na pozdější organizaci a řízení dopravy. Sestavení signálního plánu s využitím Sitraffic smartCore by mělo umožnit dopravnímu inženýrovi zajistit výchozí řešení a umožnit východiska k nalezení optimálního dopravního řešení pro řízení dopravy.

Na následujících stranách je záměrem seznámení se s tímto softwarem, popsat jednotlivé dílčí kroky nastavení, kterými je uživatelé veden k sestavení signálního plánu.

V úvodu je vhodné nastínit vstupní informace, které musí mít k dispozici dopravní inženýr. Jistých vstupních informací bylo zapotřebí i při sestavení signálního plánu některou ze jmenovaných metod popsaných v této práci.

Vstupním údajem je znalost geometrie křižovatky, přesněji vyskytujících se dopravních proudů. Konkrétně rozlišujeme dopravní pohyby pokračující dále přímým směrem přes křižovatku, popřípadě ty které dovolují odbočení vlevo nebo vpravo. S následnou znalostí vyskytujících se chodeckých proudů je snadné identifikovat kolizní, podmíněně kolizní a nekolizní dopravní proudy v křižovatce. Podstatnou souvislost s rozdělením dopravních pohybů v lokalitě má i zjištění kolizních dopravních proudů, kde jejich vstupy do křižovatky jsou řízeny ve formě časového odstupu, který je prezentován maticí mezičasů. Právě matice mezičasů je druhou nepostradatelnou vstupní informací při sestavě signálního plánu pomocí softwaru Sitraffic smartCore. Uvedené parametry je

potřeba zavést do prostředí softwaru, toto nastavení bude popsáno později v průběhu této kapitoly.

Se zajištěním vstupních dat lze přejít ke spuštění aplikace.

Po spuštění softwaru je možné otevřít existující konfiguraci, stáhnout tuto konfiguraci přímo z řadiče nebo vytvořit konfiguraci novou.

Při vytvoření zcela nového souboru, navolením volby konfigurace nové křižovatky, software nabádá k vložení informací ve formě pracovního názvu křižovatky. Dále je zde volba umožňující použít předem definovanou šablonu upravující především okrajové podmínky. V současné době spolupracuje software s šablonou akceptující podmínky využívané na území Německa. Šablona definuje například minimální délku zeleného signálu pro dopravní proudy, dále délku signálu pozor reprezentující žlutý signál a v neposlední řadě současně svítící červený a žlutý signál předcházející signálu volno.

Následujícím krokem je konfigurace křižovatky. Sestava signálního plánu je vhodně rozdělena do jedenácti po sobě jdoucích kroků, mezi nimiž lze později libovolně přepínat. Děje se tak prostřednictvím lišty navigace umístěné v horní polovině levého okraje obrazovky.

Bezprostředně pod lištou navigace v dolním levém rohu se nachází topologie křižovatky. Tedy grafické zpracování, které koresponduje s vytvořenou křižovatkou. Jeho hlavním úkolem je graficky znázornit lokalitu ve výstupní dokumentaci vygenerované softwarem při dohotovení návrhu. Své uplatnění nabývá také při případné kontrole v jednotlivých krocích. Obecně usnadní orientaci při návrhu signálního plánu v jednotlivých dílčích postupech.

Záložky v sloupci navigace budou popsány v pořadí, v jakém se vyobrazují v jednotlivých krocích.

3.1.1 Obecné údaje (General data)

V záložce obecné údaje se zadávají základní informace o názvu a geografickém popisu lokality. Nejprve se zapíše název města, ve kterém se křižovatka nachází, dále software umožňuje editovat samotný název křižovatky. Je-li nezbytný bližší popis lokality, především pro nastínění dopravní situace nebo vložení poznámek ke stavebnímu uspořádání, využije se zde příslušného pole na obrazovce.

K zajištění přesné lokalizace výskytu křižovatky se využije odkazu v mapě. Vybraný bod na mapě, reprezentující lokalitu, software následně transformuje do výpisu zeměpisných souřadnic ve formě délky a šířky.

Poslední variantou k odlišení jednotlivých návrhů je využití popisu verze.

3.1.2 Signální skupiny (Signal groups)

Define signal groups
In this step you define the signal groups and their properties.
Hint: At least 1 signal group (with main direction marker) has to be defined.

SG Name	Type	Detail type	Signal sequence	MD	Off	Supervision type	Arm
01 - VA1	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	3
03 - VA2	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	3
04 - VB1	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	4
05 - VB2	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	4
06 - VC1	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	1
07 - VC2	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	1
08 - VD1	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	2
09 - VD2	Car	KFZ 3-feldig	5 3 2	✓	2	Single red lamp(s)	2
10 - PA	Pedestrian	FG 2-feldig	5	✓	2	Simple supervision	3
11 - PB	Pedestrian	FG 2-feldig	5	✓	2	Simple supervision	4
12 - PC	Pedestrian	FG 2-feldig	5	✓	2	Simple supervision	1
13 - PD	Pedestrian	FG 2-feldig	5	✓	2	Simple supervision	2

Notation
No. 1
Name VA1

Properties
Type Car
Detail type KFZ 3-feldig
Direction

Minimum and transition times
Minimum green 5
Transition time 3
Transition time 2

Signalisation and monitoring
Main Direction (MD) ✓
Off state (Off) Dunkel
Number of Heads 2
Supervision type Single red lamp(s)

Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 10 Tabulka pro vkládání signálních skupin

Ke druhému kroku nastavení se přechází po vyplnění všech nezbytných informací v záložce obecné údaje.

V daném okamžiku se uživateli odkrývá grafické rozhraní, kde je jeho prvořadým úkolem definování signálních skupin, které se nacházejí na křižovatce. Zde se popisují jednotlivá ramena křižovatky. Znalost konfigurace ramen slouží k určení typu a především tvaru úrovně křižovatky, zdali se jedná o průsečnou křižovatku nebo stykovou, ve tvaru apod. U jednotlivých ramen se popisují hlavní dopravní prostory. U jízdních pruhů se sledují existující směry pohybu dopravního proudu v příslušném směru. Tímto způsobem

se ve skutečnosti získávají podklady pro vytvoření představy o jednotlivých signálních skupinách. V závislosti na vytváření signálních skupin software kontinuálně generuje topologické schéma.

Samotné okno je rozděleno do několika částí. Největší část tvoří tabulka, do které jsou s detailním popisem postupně přiřazovány vytvořené signální skupiny. Skupiny se řadí v tabulce sestupně podle počátku jejich vložení. Ostatní přidružené části slouží k nastavení charakteristických vlastností signální skupiny.

Nová signální skupina se vyvolá stiskem tlačítka přidat v horní tabulce. V úvodu pro snazší orientaci v signálních skupinách se jednotlivé skupiny pojmenují a označí pořadovým číslem. Dále již se definují vlastnosti, kterými se dopravní proudy charakterizují.

Vybírá se z několika typů dopravních proudů. Jsou jimi: vozidlové, chodecké, cyklistické dopravní proudy, proudy určené zrakově postiženým, pro tramvaje, autobusy apod. Software umožňuje zavést také směrové signály pro odbočení vlevo nebo vpravo, které na reálné křižovatce reprezentuje zelené směrová šipka.

K zajištění správnosti topologického schématu je zapotřebí určit i vhodný směr signální skupiny. Určení směru signální skupiny probíhá prostřednictvím vyobrazené směrové šipky. Tu lze libovolně upravovat v rozsahu třistašedesáti stupňů pouhým otočením. Pro přidání levého, či pravého odbočení se klikne vlevo, respektive vpravo vyobrazené šipky a námi požadovaný směr se doplní. Tento krok se využije pro každou signální skupinu. Ve výsledku nastavení jednotlivých směrů se obdrží topologické schéma, které se utváří v průběhu. V tento okamžik je vhodné využít schéma ke kontrole ramen křižovatky s dopravními proudy, jak jsou vytvořeny v softwaru a jak je tomu ve skutečnosti. Následuje ověření správnosti vložených vstupních údajů.

Potřebuje-li se z jakéhokoliv důvodu pozměnit některá z okrajových podmínek, jako například minimální doba pro signál volno, pozor při přechodu ze signálu stůj nebo volno, vkládá se změna právě v této části. Přednastavené hodnoty korespondují s vybranou šablonou, která je zvolena v počátcích návrhu. Hodnoty lze jednoduše měnit v závislosti na platné legislativě dané územím státu, ve kterém se lokalita nachází.

Závěrečným krokem v části signální skupiny se rozlišuje druh pozemní komunikace jednotlivých ramen tak, že se vybraným ramenům určí hlavní směr. Na základě neznalosti intenzit dopravy software očekává zvýšený počet všech účastníků provozu v místech

výběru hlavního směru. Tuto dodatečně vloženou podmínku software zahrne do skupiny podmínek stanovující délky jednotlivých signálů ve výsledném signálním plánu, který tímto způsobem upraví. Ostatní nastavitelné veličiny svým charakterem směřují k popisu technických zařízení použitých na křižovatce. Především jakým způsobem se chovají návěstidla při vypnutém stavu, jakého jsou typu či jejich počet.

3.1.3 Detektory (Detectors)

Pro efektivní využití dynamického signálního plánu je nutný sběr a vyhodnocení informací o aktuální dopravní situaci. Ke sběru tohoto druhu dat se využívá dopravních detektorů. Dopravní detektory se dělí v závislosti na fyzikálním principu na: dotykové detektory (např. kontaktní práh), detektory na ultrazvukovém poli (např. ultrazvukové), s elektromagnetickým stacionárním polem (např. indukční smyčka), poslední druh je tvořen elektromagnetickým polem s paprsky (např. radar). [Medelská, 1991, str. 46]

Po vyvolání záložky detektory se uživateli zobrazí obdobná grafická struktura okna jako v případě signálních skupin. I zde se objevuje tabulka, umožňující přidávat, odebírat a jinak upravovat dopravní detektory, použité k řízení křižovatky. Vložené informace o detektorech se opět objeví ve formě zápisu v jednotlivých řádcích tabulky.

Při samotném nastavení detektoru se postupuje následovně. Nejprve se číselně označí a pojmenují se v záložce symboly. Dále se vybírá z předdefinované nabídky druh detektoru (chodecké tlačítko apod.), ke kterému se později přidá i typ dohledu. Jakmile je detektor vytvořený, posledním krokem je implementace do systému řízení. Jednoduše řečeno, softwaru se musí zadat, za jakých podmínek lze například chodecké tlačítko využít a přidat zvolenou fázi s tímto prvkem do signálního plánu. Nastavuje se tedy, zdali se má na základě získaných dat z detektoru například prodloužit doba signálu volno.

Umístění detektoru v lokalitě je předem známa stavebně technickým uspořádáním jednotlivých prvků detekce v křižovatce. Pro správnou funkci se proto musí zvolit, jaké dopravní proudy využívají detektory k úpravě dynamického signálního plánu. V případě chodeckého tlačítka, které slouží jako ukázkový příklad použitého detektoru, se vloží signální skupina nebo skupiny, umožňující zahrnout požadovaný chodecký proud do své fáze. V systému logiky se těmto detektorům přiřazuje míra aktivity. Tedy jak se projeví data zjištěné detektorem na výsledném řízení světelné křižovatky.

3.1.4 Výstupy (Outputs)

Nejen vstupní hodnoty jsou potřeba pro správnou funkci světelné signalizace při řízení dopravy. Nedílnou součástí je i zpětná komunikace, kterou řadič dává informace nejen účastníkům provozu v místě realizace křižovatky, ale i další informace o svém provozu, které zasílá do střediska řízení příslušné oblasti.

Pro představu je vhodné uvést příklady výstupů z křižovatky. Například chodec, který přichází k přechodu, na kterém svítí signál stůj. Pro zaznamenání svého příchodu a přihlášení své poptávky stiskne chodecké tlačítko. V daný okamžik vysílá vstupní informaci do řadiče. Na základě této poptávky řadič vytváří výstupní signál, ve formě grafického výstupu, kdy rozsvítí chodecké tlačítko. Dává tedy chodci zřetelně najevo, že jeho poptávka pro vstup do křižovatky je akceptována. Vzniklá informace ve formě stisku tlačítka správně dorazila do řadiče a bylo zahájeno zpracování informace.

Dalšími událostmi, při kterých světelná křižovatka komunikuje se svým okolím, se můžou souhrnně označit jako události systémové. Řadič posílá informace o stavu systému. Příkladem je alarmové hlášení, které je neprodleně hlášeno při jakémkoliv selhání či poruše, mající vliv na případnou bezpečnost účastníkům provozu. Vždy se totiž v řadiči vyskytuje nezávislý člen, jehož úkolem je v každém okamžiku provozu kontrolovat správnost funkce světelně řízené křižovatky, na případný nesoulad správnosti funkce ihned poukázat a reagovat na vzniklý stav. Mnohdy to může zapříčinit i úplné vypnutí křižovatky.

Obecně se můžou v tomto okamžiku nastavovat všechny možné výstupy, kterými bude světelně řízená křižovatka, přesněji řečeno řadič, formou definovaných příkazů nabízet výstupní informace a data.

3.1.5 Matice mezičasů (Intergreen time matrix)

Hodnoty mezičasů se vkládají v dalším kroku do generované tabulky. Samotné vložení hodnoty času může být realizováno prostřednictvím výběru pole v tabulce nebo za využití předpřipraveného řádku. Do zmíněného řádku se vloží hodnota mezičasu následovně: První hodnota představuje vybraný řádek, druhá sloupec a poslední hodnotu samotný mezičas. K rozlišení vkládaného prvku se využije mezery, popřípadě jako oddělovač využije čárku. Velikost tabulky odpovídá počtu vyskytujících se dopravních proudů. V řádcích tabulky jsou zapsány vyklizující dopravní proudy, sloupce naopak tvoří

ty, které do křižovatky najíždějí. Podoba matice mezičasů je vyobrazena na následujícím obrázku.

Define intergreen times
In this step you edit the defined security relevant intergreen times. The correctness of the intergreen times is in the responsibility of the user.

	01 VA1	03 VA2	05 VB2	06 VC1	07 VC2	08 VD1	09 VD2	10 PA	11 PB	12 PC	13 PD
Clearing											
02 - VA1		2	3		7	4	2	4		7	
03 - VA2			4	9	3		6	2	1	8	
04 - VB1	4	3			2	3	7		3		7
05 - VB2	6	2		5	9	3			4	9	
06 - VC1		7	4	2			3	4	7		3
07 - VC2	4		5	2			5	9		1	8
08 - VD1	3	4		9	3	2				7	3
09 - VD2	5	8	3		5	1		8			4
10 - PA	7	5			4		3				
11 - PB		0	7	5		4					
12 - PC	4			2	7	5					
13 - PD			4		3	7	5				

Quick input: Type values here

Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 11 Tabulka mezičasů

Proudy jsou pro větší přehlednost barevně odlišeny. Odlišení je přeneseno i do grafického schématu, kde zeleně vyznačený proud znázorňuje najížděcí a červeně vyklizující proud. Jednotlivě zbarvené proudy jsou měněny v závislosti na umístění kurzoru v tabulce mezičasů.

Nutností je zdůraznit, že navrhovaný software v této podobě neumožňuje automatizovaný výpočet mezičasů vzájemně kolizních dopravních proudů. I proto je následující část velmi časově náročná pro řešitele, navíc je na něj kladena zodpovědnost za správnost uvedených dob. Navíc je uživatel nucen získat informace o najížděcích a vyklizovacích drahách z výkresové dokumentace, popřípadě jej obdržet od správců komunikace. Následně jej čeká určení všech kolizních pohybů v křižovatce a jednotlivé výpočty dle vztahu pro výpočet mezičasů.

Po získání potřebné doby, je již vložení do softwaru poměrně snadné. Postačí jen nalézt průsečík požadovaných kolizních proudů v tabulce a tam zapsat hodnotu mezičasu. Vyplněním tabulky mezičasů, se postupuje dále v procesu nastavení.

3.1.6 Typ ovládání (Control type)

Zde se utváří celkem tři podmínky. První dotaz v pořadí uživatele informuje, zdali je nutno pro navrhovanou lokalitu využít fázově orientovaný signální plán. Tento typ signálního plánu se využije především na křižovatkách, kde z důvodu výskytu kolizních dopravních proudů není možné povolit vstup do křižovatky v jedné fázi. Proto je nutno vytvořit fázově orientovaný signální plán, který umožní vstup všem proudům do křižovatky během jednoho cyklu. Cyklus bude rozdělen do několika fází, které doplní potřebné hodnoty mezičasů.

Druhé rozhodnutím je o přiřazení rozšířené ochrany pro vyskytující se chodce.

V okně náhledu se objevuje pole s vyobrazeným symbolem v podobě koše. Stiskem tohoto tlačítka se mažou všechny předchozí vzniklé signální plány, včetně fází do nich implementovaných.

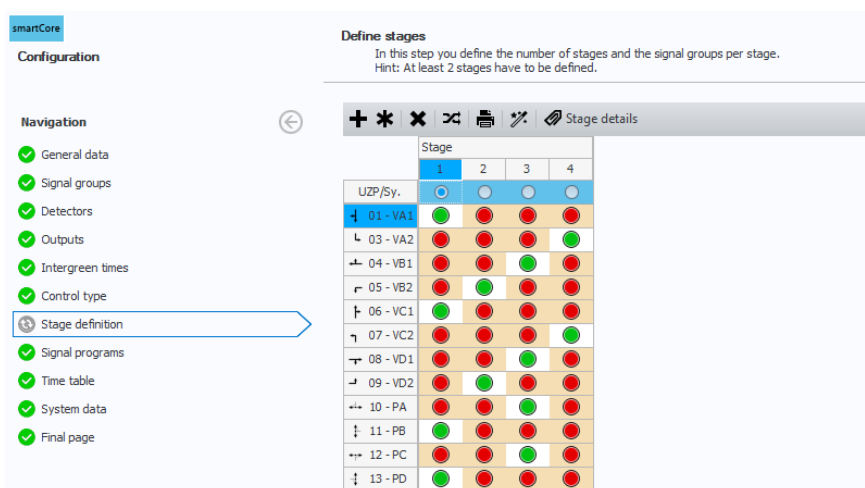
Poslední volbou je, zdali si přejeme automaticky vytvořit signální plán. Za předpokladu automatické realizace signálního plánu se putuje do části, kde se již sestavený signální plán graficky vizualizuje. Ve všech případech se rozhoduje formou označení souhlasu, či nesouhlasu.

3.1.7 Fázová schémata (Stage definition)

Jak již samotný název napovídá, vytváří se složení fázového schéma. Fázové schéma udává rozložení dopravní proudů do několika částí. Podmínkou začlenění dopravního proudu do fáze je jeho bezkoliznost s ostatními zařazenými proudy. Výjimku může tvořit vybrané podmíněně kolizní dopravní pohyby. Výběr varianty je vždy závislá na řešiteli dle jeho uvážení a rozdělení dopravních pohybů.

V předcházející nabídce nastavení bylo možné nechat vygenerovat fázové schéma přímo softwarem a dostat se již k signálnímu plánu. Pokud se ale předem předpokládá strukturu jednotlivých dopravních proudů do vybraných fází, je právě zde možnost zohlednit fázové schéma dle naší představy, respektive upravit stávající vygenerované.

Formou nabídky v okně, která je níže vyobrazena, se může přidávat, odebírat i jinak upravovat složení a sled fází.



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 12 Fázové schéma

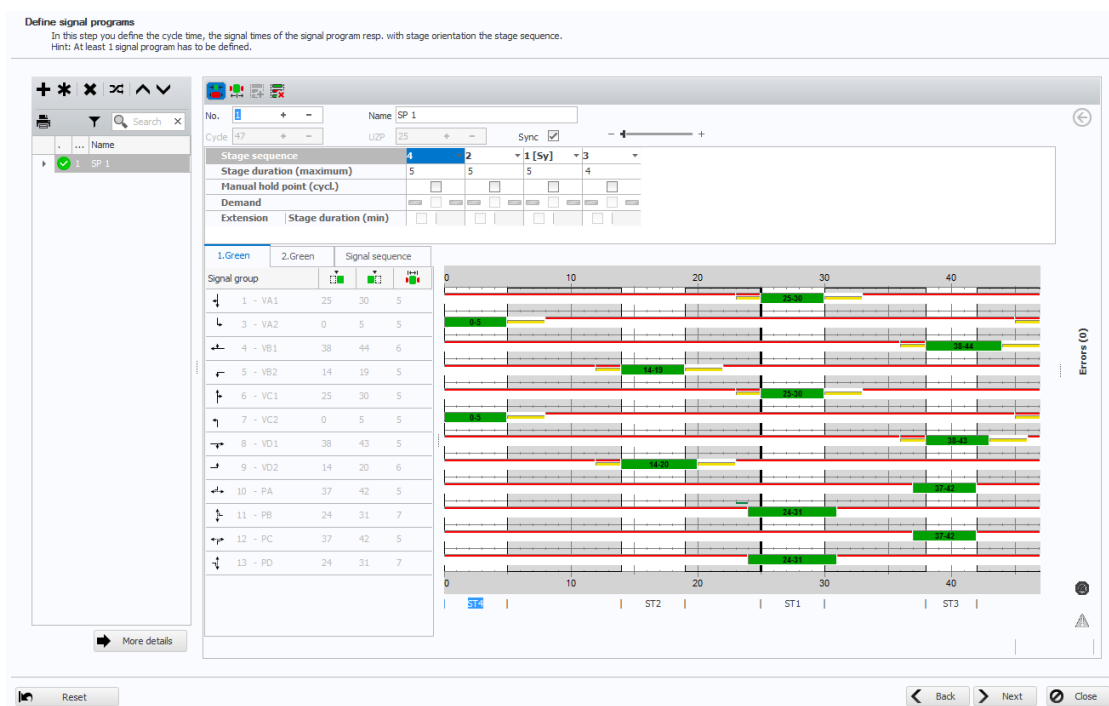
Rozhodujícím parametrem sledu fází je tzv. neproduktivní doba, která vzniká při přechodu jednotlivých fází. Cílem je nalézt optimální sled fází, kde součet rozhodujících mezer bude minimální vzhledem k ostatním přípustným řešením. Předpokládá se více optimálních řešení se shodnou výslednou ztrátovou dobou.

Následuje nastavení struktury fází. Změna se provádí označením jednotlivé fáze, ty v tabulce tvoří sloupce. Počet sloupců se shoduje s počtem vytvořených fází. Po výběru fáze jsou políčka proudů zařazených do fáze označeny zeleným symbolem. Ostatní

vyloučené proudy nesou červené označení. Odejme-li se některý dopravní proud, změní se zbarvení políčka právě takových proudů, které jej mohou ve fázi nahradit.

Je zřejmé, že software napomáhá vytvořit správnou strukturu jednotlivých fází a eliminuje nevhodné označení při zařazení kolizního proudu. Na tuto skutečnost software upozorňuje uživatele formou chybové hlášky a znemožňuje postup k dalšímu kroku do doby, než se chyba odstraní.

3.1.8 Signální plán (Signal programs)



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 13 Sestavený signální plán

Při přechodu uživatele k záložce signální plán se v softwarovém okně objevují dvě tabulky.

V první z nich se nachází grafické schéma signálního plánu vytvořeného ze vstupních parametrů, vložených do softwaru v předcházejících krocích nastavení.

Jednotlivé řádky v signálním plánu prezentují dopravní proudy v křižovatce. V levé části jsou tyto proudy vypsány s dodatečným zobrazením začátků a konců signálu volno a celkové doby zelené. Tyto informace výrazně usnadňují další práci se signálním plánem a

jeho případnými úpravami. Jednotlivé délky zelených signálů lze snadno v tabulce upravovat kliknutím na vybranou část, tu následně prodlužovat či zkracovat.

Úprava konfigurace navrženého signálního plánu může dále obsahovat i úpravu posloupnosti jednotlivých fází. Uživatel tak definuje, která z fází zahájí činnost při spuštění signálního plánu v provozu.

Software umožňuje v tomto kroku přidávat i další signální plány, které mohou být později použity na křižovatce. Ostatní signální plány mohou být sestaveny pro různé dopravní situace vyskytujících se v průběhu času.

3.1.9 Přepínací časy (Switch time)

Valná většina křižovatek má předem stanoveno několik signálních plánů, mezi kterými je možné libovolně přepínat a zahajovat či ukončovat jejich provoz. S tímto přístupem je možnost setkání nejen u křižovatek řízených pevným signálním plánem, ale i u dynamicky řízených. U křižovatek s pevným signálním plánem tímto přístupem se částečně nahrazuje dynamické řízení. Snahou je reagovat na změny zatížení křižovatky dopravou v průběhu dne. Především v období dopravní špičky v ranních a odpoledních hodinách jsou přednastaveny signální plány částečně akceptující vznikající stav. Diametrálně odlišný případ nastává v sedlových hodinách, kdy se opět využívá signální plán v pozměněné formě.

Podstatná změna přichází i o víkendovém provozu. Mnozí obyvatelé opouští městské aglomerace již v pátek odpoledne, kdy vyrazí strávit víkend mimo ruch velkoměsta. Opět se vracejí většinou v neděli v odpoledních či večerních hodinách.

Výrazně zvýšený počet vozidel v určitém časovém období se sleduje i v okolí sportovních zařízení. Za příklad lze jmenovat fanoušky fotbalových zápasů, kteří s určitou pravděpodobností ve stanoveném období přijíždějí s předstihem na fotbalový zápas. Po ukončení střetnutí se následně rozjíždějí zpět ke svým domovům.

Všechny zmíněné aspekty je nutno brát v potaz a předem je začlenit v podobě vytvoření nového signálního plánu zohledňující tyto jevy.

V průběhu nejen pracovního týdne, ale i o víkendech lze pozorovat více podobných situací. Zde je potřeba změnit stávající návrh signálního plánu a uspokojit rozdílnou poptávku. S tímto faktem souvisí následná časová koordinace nastavení signálních plánů.

Za tímto účelem je uzpůsobeno grafické rozhraní v záložce přepínací časy. Zde se vytváří časový harmonogram pro všechny signální plány, kterou jsou vloženy v řadiči a lze je v průběhu denního doby použít. Plánuje se především jejich využití v jednotlivých dnech v průběhu týdne a dobu provozu, kdy nově navržený signální plán bude využit.

3.1.10 Systémová konfigurace (System data)

Při nastavování systémových dat se vkládají technické parametry, které jsou spjaté s druhem řadiče. V reálném provozu zajistí řízení provozu. Rozhoduje se tedy o možnostech napájení, následně definuje zapojení přídavných modulů, ve formě například detektorů a výstupů, kde a jakým způsobem budou připojeny k rozšiřujícím kartám na základní desce umístěné v řadiči.

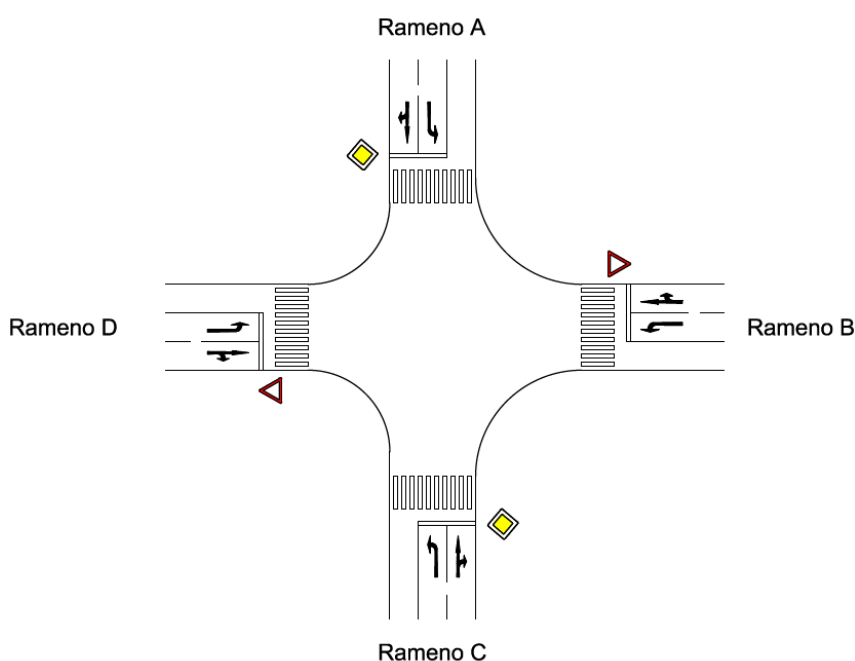
3.1.11 Kontrolní strana (Final page)

V pořadí poslední část při tvorbě signálního plánu má pro uživatele především informační charakter. Software vypisuje počty jednotlivých konfigurovaných komponentů, které dále slouží k nastavení v řadiči. Jedná se o počet použitých signálních skupin, detektorů, výstupních dat, dále informuje kolik je vytvořených signálních plánů, jejich denní plánování a také počet fází do kterých jsou signální plány rozděleny.

4. KOMPARACE VÝSLEDKŮ DOSAŽENÝCH POMOCÍ ANALYZOVANÉHO SOFTWARE S JINÝMI PŘÍSTUPY

Předmětem kapitoly je porovnat výsledky, které dosáhneme pomocí analyzovaného softwaru Sitraffic smartCore s jinými přístupy. Postup výpočtu bude obsahovat jednotlivé pracovní kroky uvedené v teoretické části diplomové práce. K porovnání využijeme výsledků signálních dob získaných pomocí metody saturovaného toku.

Pro potřeby diplomové práce k získání vstupních informací využijeme fiktivní křižovatky. Schéma křižovatky je uvedena na následujícím vyobrazení:



Zdroj: autor

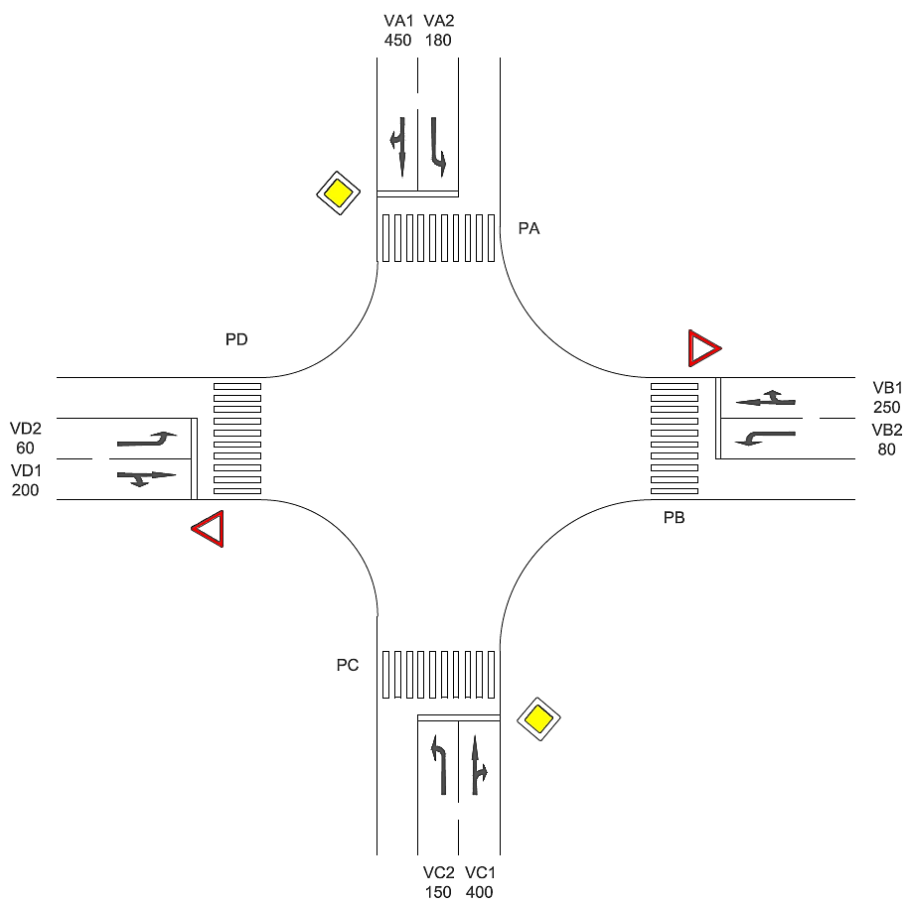
Obr. 14 Schéma fiktivní křižovatky

Z obrázku je zřejmé, že fiktivní průsečná křižovatka disponující čtyřmi rameny obsahuje celkově 12 dopravních proudů. Vyobrazené dopravní proudy ve většině případů tvoří silniční vozidla, ty se na vjezdech ucházející o vstup do křižovatky. Dalšími účastníky provozu jsou chodci. Chodcům je umožněn bezpečný pohyb v lokalitě prostřednictvím přechodu pro chodce. K řízení provozu využijeme světelného signalizačního zařízení určujícího signální doby v závislosti na sestaveném signálním plánu vloženém v radiči. Na vjezdech křižovatky bude použito signálů tříbarevné soustavy se světly se směrovými šipkami (tzv. směrové signály).

4.1 Podklady pro návrh

V úvodu zpracovávání podkladů pro návrh je vhodné detailně si popsat fiktivní čtyřramennou křižovatku. Ramena křižovatky mají shodné stavebně – technické uspořádání. Každý vjezd je tvořen dvěma řadícími pruhy. Pravý řadící pruh je opatřen směrovou šipkou přímo a vlevo, umožňuje tedy účastníkům řadící se v daném místě pokračovat přímým směrem do křižovatky, respektive odbočit vpravo. Druhý řadící pruh slouží účastníkům k odbočení vlevo. V bezprostřední blízkosti řadících pruhů ramen se vyskytuje přechod pro chodce.

V současné době hlavní pozemní komunikace vede rameny A a C. Zbylá ramena leží na vedlejší pozemní komunikaci. K navození řádné představy lokality využijeme následujícího schématické reprodukce doplněné o základní vstupní údaje.



Zdroj: autor

Obr. 15 Schéma fiktivní křižovatky doplněné vstupními údaji

Ke stavebnímu uspořádání v lokalitě se dodávají sklonové poměry ramen. Sklonové poměry výrazně ovlivňují dynamické vlastnosti vozidel při rozjezdu a následném průjezdu křižovatkou v době volna. Na fiktivní křižovatce leží ve stoupání pouze rameno D. Hodnota sklonu je stanovena na 3%. U zbylých ramen sklon nabývá hodnoty 0%.

Další veličinou mající obdobný charakter spjatý se stavebním uspořádáním jsou poloměry oblouků mezi rameny. Poloměry oblouků jsou uvedeny v tabulce Vstupní veličiny. Geometrické vzdálenosti mají souhrnně podstatný vliv na stanovení mezičasů u kolizních proudů.

Posledními vstupními údaji, které jsou zpracovávány k návrhu, jsou údaje o intenzitách. Během směrového průzkumu, který je určený k získání příslušných informací o intenzitách provozu, sledujeme nejen skladbu dopravního proudu, ale také podíl odbočujících vozidel. Podíl odbočujících vozidel sledujeme na fiktivní křižovatce v místech, kde řadící pruh umožňuje přímou jízdu a odbočení vpravo. Jedná se tedy o dopravní proudy VA1, VB1, VC1 a VD1.

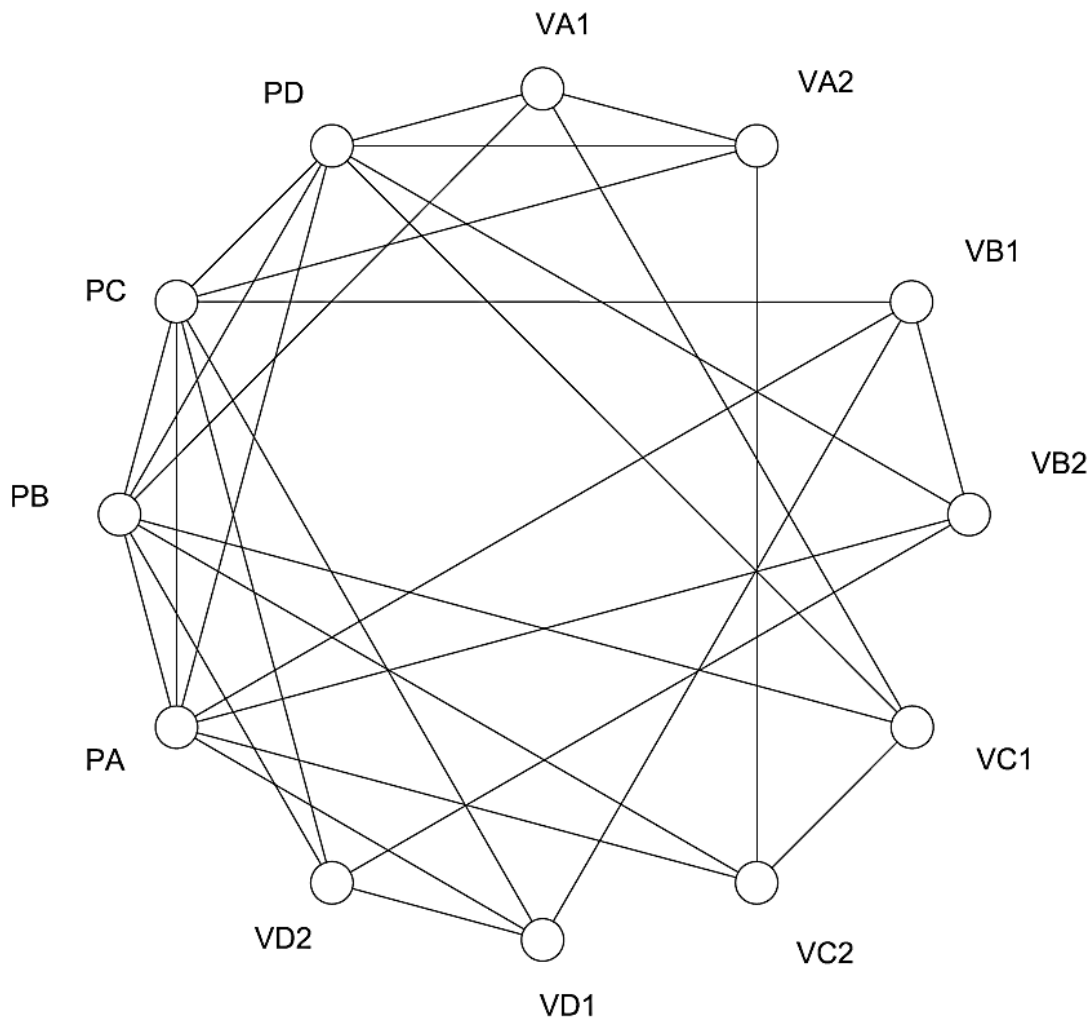
K zajištění názornosti jsou všechny výše popsané vstupní hodnoty souhrnně uvedeny v tabulce:

Dopravní proud	Intenzita dopravního proudu I [j.v./h]	Poloměr oblouku r [m]	Hodnota sklonu [%]	Podíl odbočujících vozidel [%]	Intenzita odbočujících vozidel I _{odb} [j.v./h]
VA1	450	12	0	20	90
VA2	180	19	0	-	-
VB1	250	15	0	30	75
VB2	89	22	0	-	-
VC1	400	15	0	25	100
VC2	150	13	0	-	-
VD1	200	12	3	15	30
VD2	60	19	3	-	-

Tab. 3 Vstupní veličiny

4.1.1 Návrh fázového schématu

K návrhu fázového schématu bylo využito poznatků z teorie grafů. Při řešení úlohy byl sestaven následující graf bezkoliznosti:



Zdroj: autor

Obr. 16 Graf bezkoliznosti

Výsledný graf se skládá ze dvou prvků. Jsou jimi vrcholy a hrany. Vrcholy, graficky znázorněny kruhem, představují dopravní proudy křižovatky. Hrany, které navzájem spojují vybrané vrcholy, zprostředkovávají informaci o nekoliznosti, respektive podmíněně koliznosti a udávají, které dopravní proudy mohou být obsaženy ve stejné fázi.

Při bližší analýze grafu bezkoliznosti zde nejsou uvedeny vybrané podmíněně kolizní proudy. Jedná se o podmíněně kolizní pohyby vznikající při odbočení vlevo s protisměrem. Pro příklad jmenujme proudy VC2 a VA1, kde k tomuto pohybu dochází. Dalším opomíjeným pohybem je levé odbočení s přechodem pro chodce, který se nachází

na levém rameni, od řadícího pruhu pro levé odbočení. Vyloučení zmíněných podmíněně kolizních proudů, bylo zavedeno k navýšení bezpečnosti v křižovatce. I v praxi se s těmito podmíněně kolizními proudy jen zřídka pracuje.

K sestavení fází jsou v grafu bezkoliznosti vybrány maximální kompletní podgrafy. Množina kompletních podgrafů, které mohou tvořit samostatnou fázi během cyklu, je:

F1 {VA1, VA2, PD}	F8 {VB2, PA, PD}
F2 {VA1, VC1, PB, PD}	F9 {VC1, VC2, PB}
F3 {VA2, VC2}	F10 {VC2, PA, PB}
F4 {VA2, PC, PD}	F11 {VD1, VD2, PC }
F5 {VB1, VB2, PA}	F12 {VD1, PA, PC }
F6 {VB1, VD1, PA, PC}	F13 {VD2, PB, PC}
F7 {VB2, VD2}	F14 {PA,PB, PC, PD}

Pro určení optimálního počtu fází a následně k vytvoření struktury jednotlivých fází je využito matematického modelu.

Pro potřeby modelu je sestavena matice skládající se z řádků, reprezentující výše uvedené fáze, sloupce představují dopravní proudy. Matice je obsazena bivalentní proměnnou $\{0,1\}$. Nachází-li se u příslušného dopravního proudu hodnota 1 v příslušné fázi, je možné tento proud do dané fáze zařadit. Hodnota 0 znamená opak, a není možné do příslušné fáze dopravní proud zařadit. Matice vstupující do modelu má tvar:

Dopravní proud	Fáze													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
VA1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VA2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VB1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
VB2	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
VC1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
VC2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
VD1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
VD2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
PA	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
PB	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
PC	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
PD	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Zdroj: autor

Tab. 4 Matice vstupující do matematického modelu

$$\min f(Z) = \sum_{j \in J} Z_j$$

za podmínek:

$$a_{11} \cdot Z_1 + a_{21} \cdot Z_1 + \dots + a_{121} \cdot Z_1 \geq 1 \Rightarrow 1 \cdot Z_1 + 1 \cdot Z_1 + \dots + 0 \cdot Z_1$$

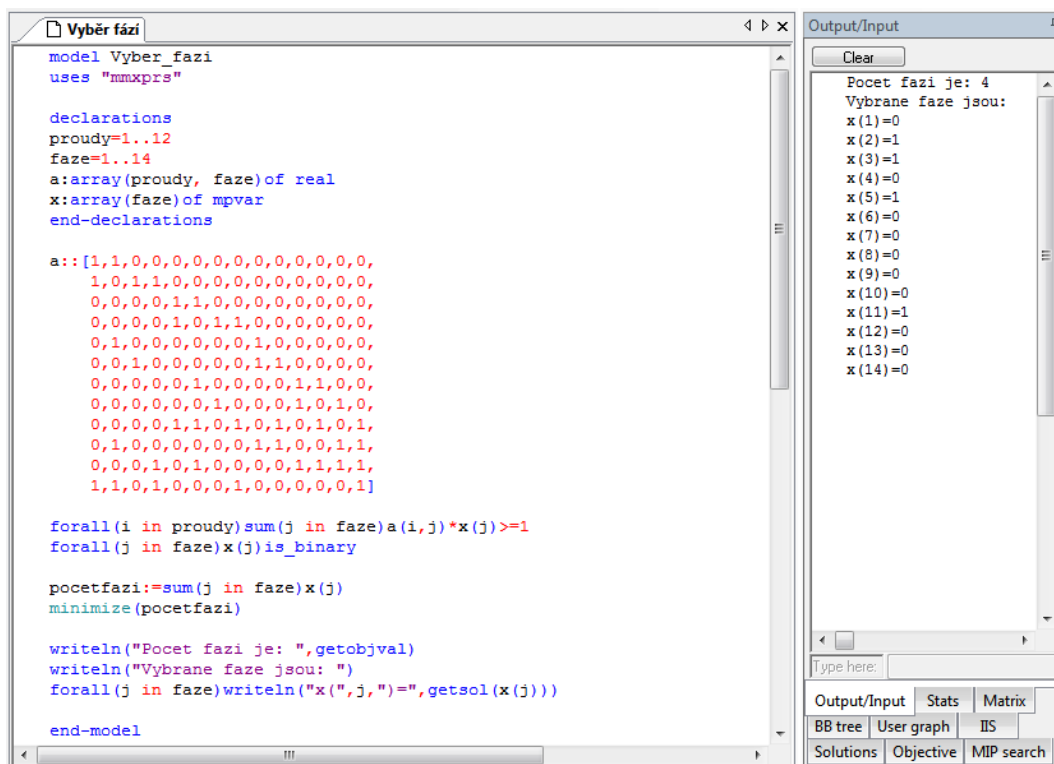
\vdots

$$a_{1;14} \cdot Z_{14} + a_{214} \cdot Z_{14} + \dots + a_{12;14} \cdot Z_{14} \geq 1 \Rightarrow 1 \cdot Z_{14} + 1 \cdot Z_{14} + \dots + 1 \cdot Z_{14}$$

$$Z_j \in \{0,1\}$$

$$\text{pro } j \in J$$

Po sestavení matematického modelu je model zadán do optimalizačního softwaru Xpress – IVE. Pro potřeby implementace matematického modelu do optimalizačního softwaru je potřebné přepsat model do jazyku Mosel, se kterým software následně pracuje. Text modelu v prostředí optimalizačního softwaru je následující:



Zdroj: Xpress – IVE (upraveno)

Obr. 17 Text modelu pro výběr fází v optimalizačním softwaru Xpress – IVE

Po provedení optimalizačního výpočtu je shledáno optimálním řešením využití čtvřfázového schématu k řízení provozu na fiktivní křižovatce.

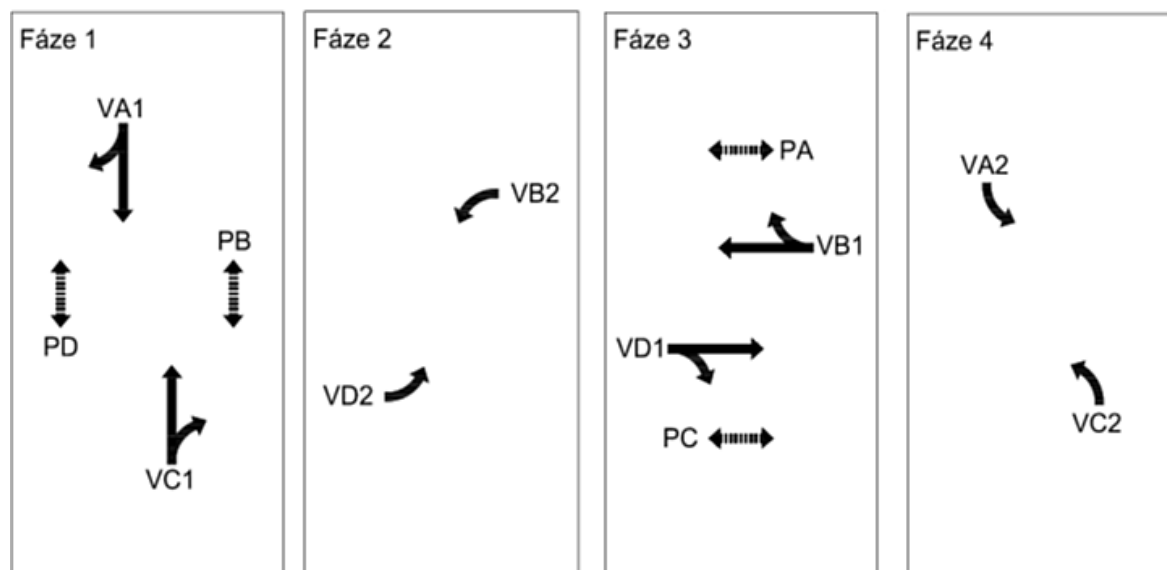
Aplikací matematického modelu je získána struktura výsledných čtyř fází. Výsledkem optimalizačního výpočtu je:

Fáze	Dopravní proudy ve fázi
1.	VA1, VC1, PB, PD
2.	VA2, VC2
3.	VB1, VB2, PA
4.	VD1, VD2, PC

Zdroj: autor

Tab. 5 Struktura fází získaná matematickým modelem pro výběr fází

K výpočtu je využita rozdílná optimální struktura fází. Výsledné fázové schéma s obsahem jednotlivých dopravních proudů je uvedeno na následujícím vyobrazení:



Zdroj: autor

Obr. 18 Použité fázové schéma

4.1.2 Výpočet mezičasů

Matice mezičasů byla získána na základě aplikace vztahu pro výpočet mezičasů uvedeného v teoretické části. Hodnoty vzdálenostních veličin vstupujících do výpočtu byly změřeny v konstrukčním softwaru AutoCAD. Postup výpočtu je uveden níže:

Vyklizuje-li proud VA1 a najíždí-li proud VB1, výsledný mezičas se určí:

$$t_m = \frac{L_v + l_{voz}}{v_v} - \frac{L_n}{v_n} + t_b = \frac{19,5 + 5}{9,7} - \frac{26}{9,7} + 2 = 1,84 \cong 2 [s]$$

Tabulka reprezentující stanovení mezičasů na fiktivní křižovatce je v příloze 2. V této části pracujeme již s výslednou upravenou maticí mezičasů.

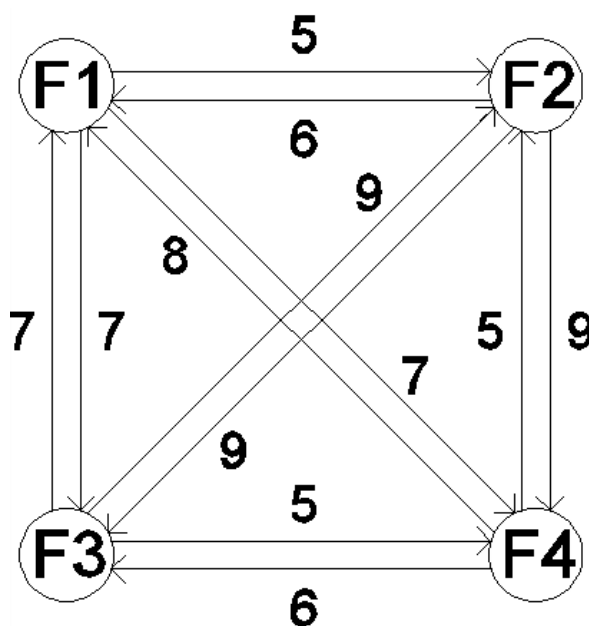
Tabulka mezičasů		Najížděcí proudy											
		VA1	VA2	VB1	VB2	VC1	VC2	VD1	VD2	PA	PB	PC	PD
Vyklizující proudy	VA1			2	3		7	4	2	4		7	6
	VA2			4	9	3		6	2	1	8		
	VB1	4	3			2	3		7	6	3		7
	VB2	6	2			5	9	3			4	9	
	VC1		7	4	2			3	4	7	6	3	
	VC2	4		5	2			5	9			1	8
	VD1	3	4		9	3	2				7	6	3
	VD2	5	8	3		5	1			8			4
	PA	7	5			4			3				
	PB		0	7	5			4					
	PC	4			2	7	5						
	PD			4			3	7	5				

Zdroj: autor

Tab. 6 Matice mezičasů pro fiktivní křižovatku

4.1.3 Volba optimálního pořadí fází

K zajištění optimálního pořadí fází byl použit Littlův algoritmus. Aplikací algoritmu získáme tzv. minimální Hamiltonovu kružnici. Hamiltonova kružnice je faktorový podgraf, který je zároveň kružnicí. Kružnice prochází všemi vrcholy původního grafu. V našem případě má původní graf tvar uvedený ve schématu znázorněném na obr. 20. Vrcholy reprezentují fáze vstupující do křižovatky. Vyobrazené hrany, respektive ohodnocení hran značí rozhodující mezičas při přechodu fází.



Zdroj: autor

Obr. 19 Schéma grafu

Littlův algoritmus je založený na metodě větví a hranic. Větvením dělíme množiny přípustných řešení na menší podmnožiny. V průběhu výpočtu získáváme horní, respektive dolní odhad hodnoty účelové funkce na řešeních. Výpočet je ukončen po vyhledání přípustného řešení, které se vyznačuje minimální hodnotou účelové funkce. [Littlův algoritmus, 2014]

Při průchodu algoritmu zapisujeme jednotlivé podmnožiny řešení do grafu zvaného strom. Proměnné mající bivalentní charakter, rozhodující o zařazení či nikoli, ve stromu zapisujeme x_{ij} . Indexy u proměnné reprezentují vybrané vrcholy grafu.

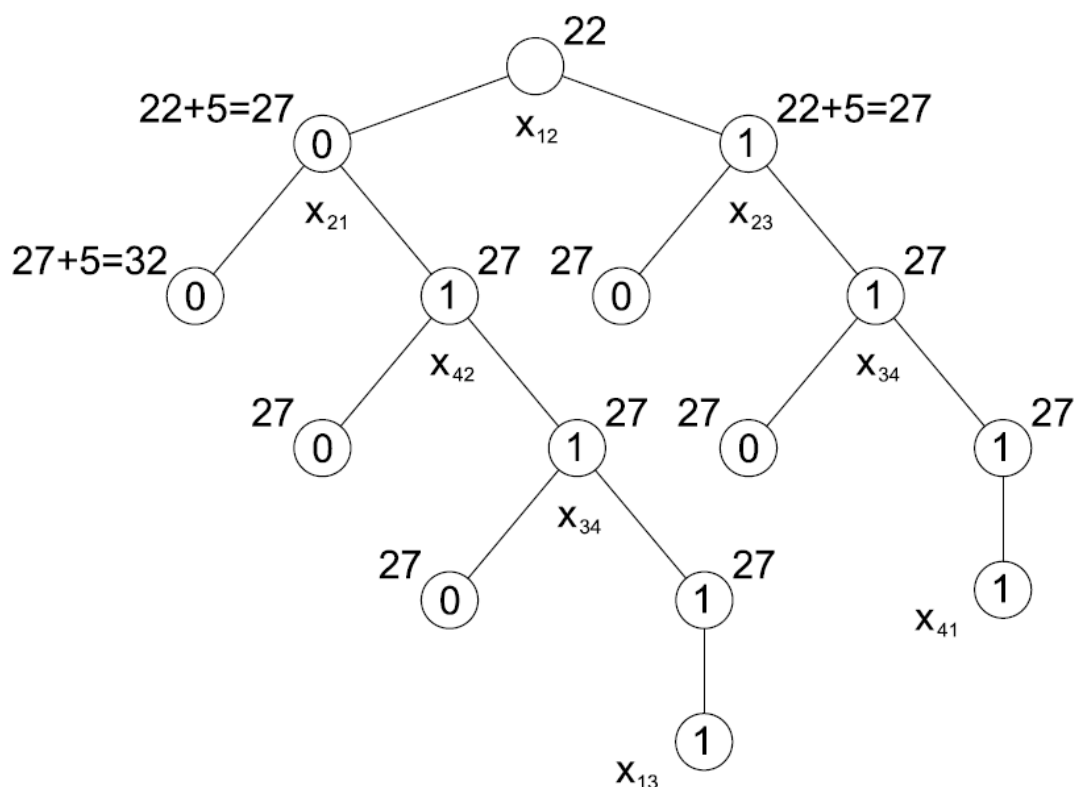
Před aplikací Littleho algoritmu, vstupuje do výpočtu tabulka sestavená z výše uvedeného schématu grafu. Hodnoty mající shodný charakter rozhodujících mezičasu, jsou uvedeny v následující tabulce:

Najíždí/vyklizuje	F1	F2	F3	F4
F1	-	5	7	7
F2	6	-	9	9
F3	7	9	-	5
F4	8	9	6	-

Zdroj: autor

Tab. 7 Fázové přechody

Výstupem Littleho algoritmu je strom, rozhodující o optimálním pořadí fází.



Zdroj: autor

Obr. 20 Výsledný strom

Při bližším pohledu na výsledný graf po aplikaci Littleho algoritmu je zřejmé, že součet rozhodujících mezičasu v průběhu cyklu je 27 s. I proto není nutné procházet

vybrané nedokončené větve, jelikož neumožní nalézt vhodnější řešení. Ve stromu se nacházejí řešení, které jsou rovny této hodnotě, případně ty s nevyhovující vyšší hodnotou.

Z výsledného stromu vyplývá skutečnost o existenci více řešení s optimálním pořadím fází. Každé optimální pořadí musí splňovat předpoklad o hodnotě součtu rozhodujících mezičasů ve výši 27 s. Jedno z řešení je i pořadí fází, kdy nejprve do křižovatky vstoupí proudy fáze 1, poté proudy fáze 2, následovaný fází 3 a cyklus uzavře dopravní proudy obsažené ve fázi 4.

S fázovým schématem 1 – 2 – 3 – 4 budeme dále pracovat při sestavení signálního plánu.

4.1.4 Stanovení délky cyklu a délek jednotlivých fází vybranými metodami

K získání výsledných hodnot signálních dob a k následnému sestavení signálního plánu je využito třech metod. První použitou metodou je metoda saturovaného toku. Tato metoda se často využívá v praxi, i z tohoto důvodu byla vybrána a dále poslouží k následnému porovnání ostatních výsledků. Druhým alternativním přístupem je k sestavení signálního plánu využito poznatků lineárního matematického programování, kde je sestaven matematický model ke stanovení signálních dob. V pořadí poslední metodou je sestavení signálního plánu s využitím analyzovaného softwaru Sitraffic smartCore.

K porovnání kvality získaných výsledků aplikací jednotlivých uvedených metod je u zmíněných metod provedeno kapacitní posouzení, jehož postup vychází z TP 235.

4.1.4.1 Metoda saturovaného toku

Webstrova metoda stanovuje délky cyklu a signálů volno v závislosti na stupních saturace (nasycení) vjezdů ve fázích.

V první fázi metody se stanovuje saturovaný tok vjezdu S_v . Hodnota výsledného saturovaného toku vjezdu je upravována v závislosti na získaných koeficientech sklonu a oblouku, uvedené koeficienty hodnotu základního saturovaného toku snižují.

Pro saturované toky vjezdů se na základě znalostí vstupních intenzit vypočítává pro jednotlivé dopravní proudy stupně saturace. Nejvytíženější dopravní proudy nazveme kritickými vjezdy. Pro kritické vjezdy tato metoda v následném postupu stanoví délky zelených signálů.

Pro názornost je níže uveden výpočet jednotlivých veličin, které jsou následně uvedeny v tabulce 8.

Pro proud VA1 platí:

Koeficient oblouku k_{obl} :

$$k_{obl} = \frac{R}{R + 1,5 \cdot f} = \frac{4}{4 + 1,5 \cdot 0,2} = 0,93023 \quad [-]$$

Koeficient sklonu k_{skl} :

$$k_{skl} = 1 - 0,02 \cdot a = 1 - 0,02 \cdot 0 = 1 \quad [-]$$

Výsledná hodnota saturovaného toku vjezdu S:

$$S = S_{zakl} \cdot k_{skl} \cdot k_{obl} = 2000 \cdot 1 \cdot 0,93023 = 1860,46 \quad [jv \cdot h^{-1}]$$

Stupeň saturace y:

$$y = \frac{I}{S} = \frac{450}{1860,47} = 0,2419 \quad [-]$$

Délka zelené pro kritický vjezd z:

$$z = \frac{y \cdot (C - L)}{Y} - 1 = \frac{0,2419 \cdot (84 + 23)}{0,5234} - 1 = 27,16 \quad [s]$$

Fáze	Dopravní proud	I [j.v./h]	k _{skl} [-]	k _{obl} [-]	S _{zakl} [j.v./h]	S _v [j.v./h]	y _i [-]	Kritický vjezd ve fázi i	Z _i [s] (zaokrouhleno)
1	VA1	450	1	0,930	2000	1860,47	0,2419	0,2419	27
	VC1	400	1	0,914	2000	1828,57	0,2188		
2	VB2	80	1	0,936	1900	1778,72	0,0450	0,0450	5
	VD2	60	0,94	0,927	1900	1655,32	0,0362		
3	VB1	250	1	0,8989	2000	1797,75	0,1391	0,1344	15
	VD1	200	0,94	0,964	2000	1812,05	0,1104		
4	VA2	180	1	0,927	1900	1760,98	0,1022	0,1022	11
	VC2	150	1	0,897	1900	1703,45	0,0881		
							Y	0,5234	

Zdroj: autor

Tab. 8 Výsledná tabulka metody saturovaného toku

Metodou saturovaného toku jsou získány délky zelených pro kritické vjezdy ve fázích. V první fázi je za kritický vjezd označen dopravní proud VA1. Vypočtená délka zelené zohledňující vstupní parametry je stanovena v době trvání 27s. V druhé fázi tvoří kritický vjezd dopravní proud VB2. Potřebná délka zelené pro dopravní proud VB2 je 5s. Při přechodu ke třetí fázi, lze kritickým vjezdem označit dopravní proud VB1. Zde je nutná doba zelené v trvání 15s. V poslední vyskytující se fázi je kritickým vjezdem dopravní proud VA1 a délka zelené je stanovena na 11s.

Z navrženého fázového schématu je zřejmé, že v každé fázi vstupují do křižovatky dva dopravní proudy. Pro tyto dopravní proudy jsou délky zeleného signálu odvozeny od doby zelené pro kritický vjezd v dané fázi. Výsledné délky zelené jsou shodné s délkami kritických vjezdů, ke zhlédnutí jsou v tab. 9.

Fáze	Dopravní proud	Délka zeleného signálu z_i [s] (zaokrouhleno)
1	VA1	27
	VC1	27
2	VB2	5
	VD2	5
3	VB1	15
	VD1	15
4	VA2	11
	VC2	11

Zdroj: autor

Tab. 9 Výsledná tabulka délek zelených signálů

Ostatní parametry charakterizující sestavený signální plán jsou uvedeny v tab. 10.

Celkový ztrátový čas L [s]	23	
Optimální délka cyklu [s]	83,71	84
Rozmezí reálného cyklu [s]	62,78	125,56

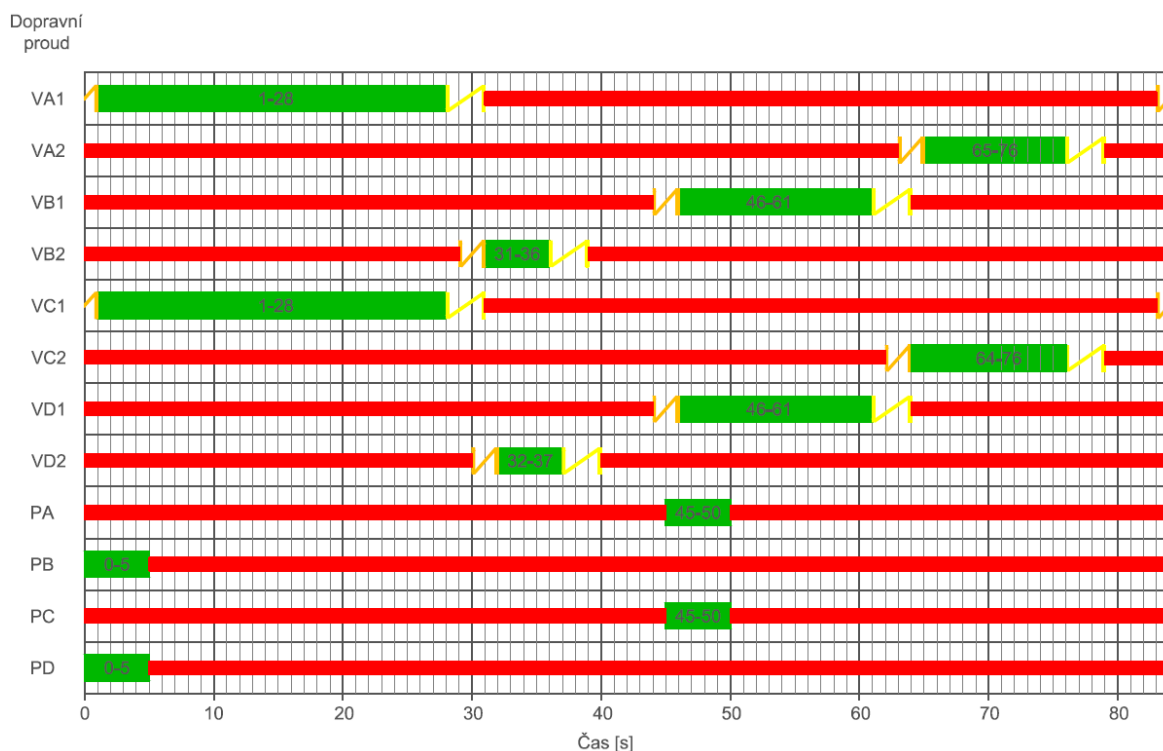
Zdroj: autor

Tab. 10 Délky signálního plánu

Z hodnot délek zelených signálů získaných metodou saturovaného toku je sestaven výchozí signální plán. Nejprve jsou vloženy do signálního plánu délky zelených pro kritické vjezdy. Délky zelených pro kritické vjezdy nacházejících se v odlišných fázích odděluje příslušný mezičas. Dále jsou v postupu přidány zbylé dopravní proudy.

Jak již bylo v práci zmíněno, s chodeckými proudy je pracováno samostatně a jsou dodatečně vloženy do signálního plánu tak, aby splňovaly podmínky mezičasů. Délka zelených pro chodecké proudy je v trvání 5s. Tato minimální délka byla shledána jako dostačující, jelikož umožní bezpečný přechod poměrně velkého množství chodců, kteří čekají před přechodem pro chodce. Dodatečné vložení chodeckých proudů neovlivní

délku cyklu 84s, jelikož je při výpočtu pracováno s celkovým ztrátovým časem 23s. Výsledný signální plán má tvar:



Zdroj: autor

Obr. 21 Signální plán sestavený metodou saturovaného toku

Při sestavě signálního plánu je na základě tabulky mezičasů u proudu VC2 prodloužena délka zelené o 1s. Tato úprava umožní vstup vyššího počtu vozidel do křižovatky, dále má také významný vliv na zdržení účastníků v tomto dopravním proudu. Navýšená hodnota zeleného signálu pozitivně ovlivní kapacitní posouzení signálního plánu.

4.1.4.2 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného metodou saturovaného toku

Pro kontrolu dosažených výsledků je provedeno kapacitní posouzení. Postup kapacitního posouzení je nedílnou součástí při schvalování signálního plánu. Realizace posouzení je uvedena v tab. 12.

Obdobně jako při výpočtu metodou saturovaného toku

Pro proud VA1 platí:

Kapacita vjezdu K_v :

$$K_v = S_v \cdot \frac{z'}{C} = 1860,47 \cdot \frac{27}{84} = 598,01 \text{ [jv. h}^{-1}\text{]}$$

Rezerva kapacity vjezdu Rez:

$$\text{Rez} = \left(1 - \frac{I_v}{K_v}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{450}{598,01}\right) \cdot 100 = 24,75 \text{ [%]}$$

Střední doba zdržení t_w :

$$\begin{aligned} t_w &= 0,45 \cdot \left(\frac{(C - z')^2 \cdot K_v}{K_v \cdot C - I_v \cdot z'} + \frac{I_v \cdot 3600}{K_v^2 - I_v \cdot K_v} \right) \\ &= 0,45 \cdot \left(\frac{(84 - 27)^2 \cdot 598,01}{598,01 \cdot 84 - 450 \cdot 27} + \frac{450 \cdot 3600}{598,01^2 - 450 \cdot 598,01} \right) = 31,19 \text{ [s]} \end{aligned}$$

Délka fronty L_{F1} :

$$L_{F1} = 6,0 \cdot \frac{(C - z') \cdot I_v}{n_p \cdot 3600} = 6,0 \cdot \frac{(84 - 27) \cdot 450}{1 \cdot 3600} = 42,75 \text{ [m]}$$

Dopravní proud	Délka zelené z [s]	Efektivní zelená z' [s]	Saturovaný tok vjezdu S_v [j.v./h]	Kapacita vjezdu K_v [j.v./h]	Intenzita vjezdu I_v [j.v./h]	Rezerva kapacity vjezdu Rez [%]	Střední doba zdržení t_w [s]	Délka fronty L_{F1} [m]
VA1	27	27	1860,47	598,01	450	24,75	31,19	42,75
VC1		27	1828,57	587,76	400	31,94	28,15	38,00
VB2	5	6	1778,72	127,05	80	37,03	55,81	10,40
VD2		6	1655,32	118,24	60	49,25	47,93	7,80
VB1	15	15	1797,75	321,03	250	22,13	47,39	28,75
VD1		15	1812,05	323,58	200	38,19	36,77	23,00
VA2	11	11	1760,98	230,60	180	21,94	56,79	21,90
VC2	12	12	1703,45	243,35	150	38,36	41,15	18,00

Zdroj: autor

Tab. 11 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného metodou saturovaného toku

V závislosti na efektivních délkách zelených, saturovaného toku vjezdu a celkové délky cyklu je vypočtena kapacita jednotlivých vjezdů. Při bližším pohledu je kapacita všech vjezdů vyšší, než činí hodnota intenzity vjezdů. Za tohoto předpokladu není překročena kapacita vjezdu a je proveditelný výpočet rezervy kapacity. Z výsledků střední doby zdržení lze konstatovat, že s vyloučením dopravních proudů VB2 a VA2 je na zbylých vjezdech UKD uspokojivá (ozn. C) nebo dobrá (ozn. B). U třech zmíněných dopravních proudů, je na základě zdržení, UKD dostatečná (ozn. D). Na křižovatce se tedy nevyskytuje nestabilní stav. Signální plán vyhovuje kapacitnímu posouzení podle TP 235.

Pokud se při kapacitním posouzení vyskytne vjezd křižovatky, který nesplní stanovená kritéria UKD, je nutné daný návrh opětovně přezkoumat a nalézt možnosti k zlepšení současného stavu. Pokud nelze zajistit zlepšení formou přeorganizování dopravy, je nutné v řešené lokalitě využít úpravu stavebního uspořádání a tímto zajistit vhodnější dopravní podmínky.

4.1.4.3 Matematický model – varianta minimalizující délku cyklu

Pro opětovnou sestavu signálního plánu pro fiktivní křižovatku je využito matematického modelu. V matematickém modelu jsou využity vozidlové proudy, jelikož popisovaný model neobsahuje prvky zohledňující chodecké proudy a neumožňuje výpočet potřebné doby zeleného signálu. Chodecké proudy jsou po dokončení optimalizačního výpočtu následně vloženy do získaného signálního plánu. Délka zelené pro chodce je stanovena na 5s.

Při vkládání dob zelených pro chodce dochází k prodloužení výsledné délky cyklu. Tato skutečnost se následně projevuje v kapacitním posouzení. Proto je nutné při optimalizačním výpočtu zajistit dostatečné délky zelených pro dopravní proudy. Splněním vstupní podmínky o dostatečné délce zelených je v modelu navýšena minimální poměrná rezerva mezi nabízenou a průměrně požadovanou dobou zelené. Poměrná rezerva je stanovena na hodnotu 1,5. Stanovená hodnota zajistí, že hodnota zelené po provedení optimalizačního výpočtu bude dosahovat 1,5 násobku doby, která je průměrně požadována.

Sestava matematického modelu:

$$\min f(c) = c$$

za podmínek:

$$y_1 - x_1 \geq t_i \Rightarrow y_1 - x_1 \geq 5$$

⋮

$$y_8 - x_8 \geq t_i \Rightarrow y_8 - x_8 \geq 5$$

$$y_1 - x_1 \geq \frac{2 \cdot 450 \cdot c \cdot 1,5}{3600} \Rightarrow y_1 - x_1 \geq 0,375 \cdot c$$

⋮

$$y_8 - x_8 \geq \frac{2 \cdot 60 \cdot c \cdot 1,5}{3600} \Rightarrow y_1 - x_1 \geq 0,05 \cdot c$$

$$x_4 - y_1 \geq 3 \quad x_7 - y_4 \geq 3 \quad x_2 - y_3 \geq 3 \quad x_5 - y_2 \geq 3 - c$$

$$x_8 - y_1 \geq 2 \quad x_3 - y_8 \geq 3 \quad x_6 - y_3 \geq 3 \quad x_1 - y_6 \geq 4 - c$$

$$x_4 - y_5 \geq 2 \quad x_2 - y_7 \geq 4$$

$$x_8 - y_5 \geq 4$$

$$y_i \leq c$$

$$x_i \geq 0$$

$$y_i \geq 0$$

$$c \geq 0$$

$$x_6 - y_7 \geq 2$$

$$pro\ i = 1, \dots, p$$

$$pro\ i = 1, \dots, p$$

$$pro\ i = 1, \dots, p$$

I pro následující matematický model je k výpočtu využit optimalizační software Xpress – IVE. Text modelu je:

```

model Min_cyklus
uses "mmxprs"

declarations
proud=1..8
x:array(proud)of mpvar
y:array(proud)of mpvar
q:array(proud)of real
c:mpvar

end-declarations

u:=1.5
q:=[450,180,250,80,400,150,200,60]

!doba zelené
forall(i in proud)y(i)-x(i)>=((2*q(i)*c*u)/3600)
!minimální doba zelené 5s
forall(i in proud)y(i)-x(i)>=5
!zelené končí nejpozději na konci cyklu
forall(i in proud)y(i)<=c

!mezičasy přechod fáze 1-2
!mezičas vyklizuje VA1 najíždí VB2
x(4)-y(1)>=3
!mezičas vyklizuje VA1 najíždí VD2
x(8)-y(1)>=2
!mezičas vyklizuje VC1 najíždí VB2
x(4)-y(5)>=2
!mezičas vyklizuje VC1 najíždí VD2
x(8)-y(5)>=4
!mezičasy přechod fáze 2-3
!mezičas vyklizuje VB2 najíždí VD1
x(7)-y(4)>=3
!mezičas vyklizuje VD2 najíždí VB1
x(3)-y(8)>=3
!mezičasy přechod fáze 3-4
!mezičas vyklizuje VB1 najíždí VA2
x(2)-y(3)>=3
!mezičas vyklizuje VB1 najíždí VC2
x(6)-y(3)>=3
!mezičas vyklizuje VD1 najíždí VA2
x(2)-y(7)>=4
!mezičas vyklizuje VD1 najíždí VC2
x(6)-y(7)>=2
!mezičasy přechod fáze 4-1
!mezičas vyklizuje VA2 najíždí VC1
x(5)-y(2)>=3-c
!mezičas vyklizuje VC2 najíždí VA1
x(1)-y(6)>=4-c

forall(i in proud)x(i)is_integer
forall(i in proud)y(i)is_integer
Delka_cyklu:=c
minimize(Delka_cyklu)
writeln("Minimální délka cyklu: ",getobjval," s")
forall(i in proud)writeln("Začátek doby zelené pro proud ",i," je: ",getsol(x(i)))
forall(i in proud)writeln("Konec doby zelené pro proud ",i," jsou: ",getsol(y(i)))

end-model

```

Zdroj: Xpress – IVE (upraveno)

Obr. 22 Text matematického modelu světelně řízené křižovatky v softwaru Xpress - IVE

Po dokončení optimalizačního výpočtu je získána optimální délka cyklu, začátky a konce dob zelených pro dopravní proudy. Výsledky optimalizačního výpočtu jsou uvedeny v tab. 12:

Dopravní proud	Začátek zelené	Konec zelené	Délka zelené z [s]
VA1	0	24	24
VA2	50	60	10
VB1	34	47	13
VB2	27	32	5
VC1	1	22	21
VC2	50	58	8
VD1	35	46	11
VD2	26	31	5

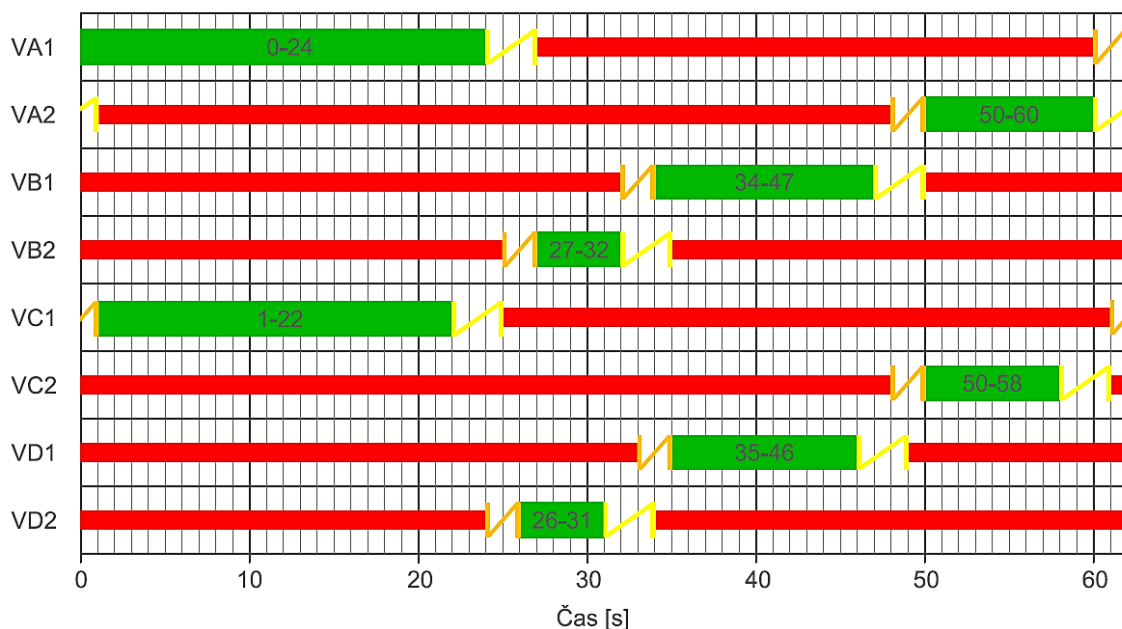
Délka cyklu 62 s

Zdroj: autor

Tab. 12 Výsledek optimalizačního výpočtu

Z výsledků získaných optimalizačním výpočtem je na základě doby začátků a konců zelených sestaven signální plán bez chodců. Signální plán má tvar:

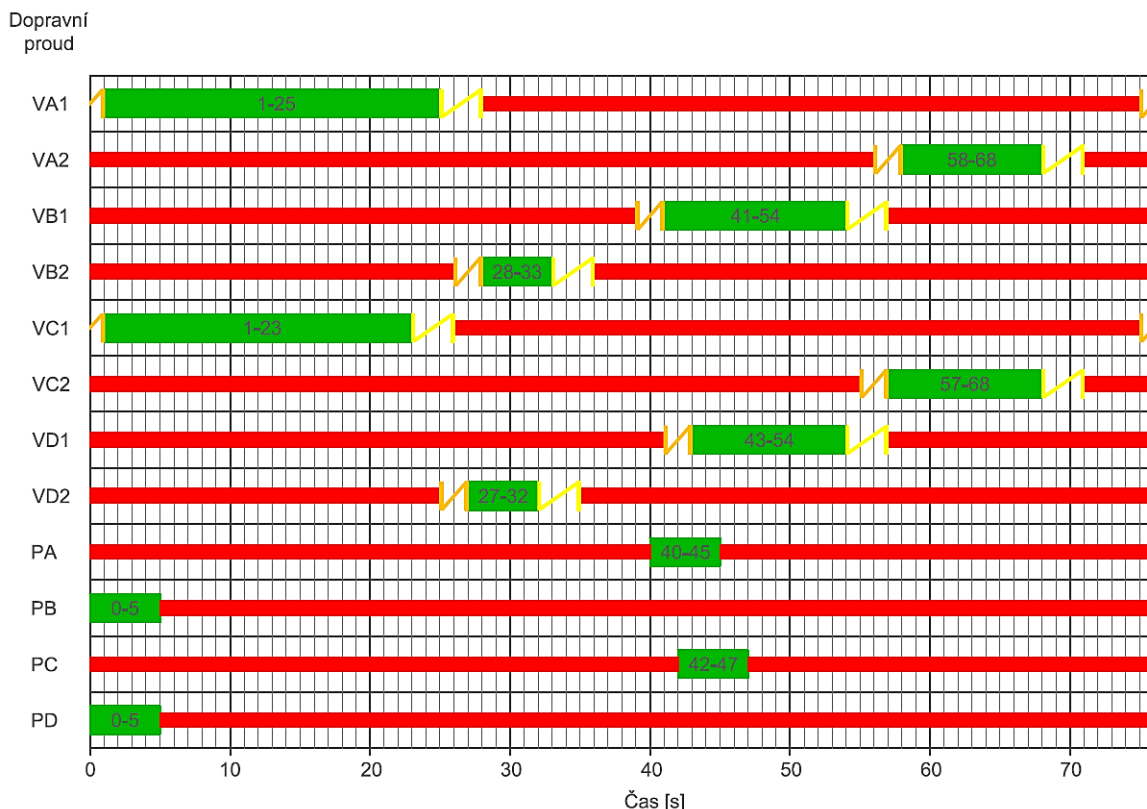
Dopravní proud



Zdroj: autor

Obr. 23 Signální plán sestavený matematickým modelem

Po dokončení sestavy signálního plánu jsou následně dodatečně do příslušných fází podle fázového schématu přiděleny zbývající chodecké proudy. Na základě vyšších hodnot mezičasů mezi chodeckými a vozidlovými proudy je doba signálního plánu navýšena. Délky zelených pro vozidlové proudy zůstávají stejné. Doplněný signální plán je níže vyobrazen.



Zdroj: autor

Obr. 24 Signální plán sestavený matematickým modelem doplněn o chodce

Po doplnění chodeckých proudů je celková délka cyklu v době trvání 76s. Délka cyklu se navýšila ve srovnání s výsledkem matematického modelu o 14s. Navýšení je zapříčiněno podstatně vyšším ztrátovým časem a přesazením začátku zelených pro chodecké proudy o 1s před vozidlové proudy ve společné fázi. Předsazení je podle TP 81 vhodné provádět v délce 1 – 2s z důvodu zvýšení bezpečnosti chodců. Při dřívějším začátku zelené u chodců, je zajištěna jejich vyšší bezpečnost. V době příjezdu vozidla k přechodu jsou již chodci na příslušném přechodu a řidič jej snáze zaznamenává. Eliminují se tedy situace, kdy chodec i přes signál volno vstupuje do místa přechodu a výrazně tím může negativně ovlivnit přijíždějící řidiče.

Dále je navýšena hodnota zelené pro dopravní proud VC1 o 1s na celkovou délku 22s. Obdobné navýšení lze shledat u dopravního proudu VC2, kde je na základě výsledků matematického modelu a matice mezičasů možno navýšit délku zeleného signálu o 3s na hodnotu 11s. Toto navýšení signálních dob má opět význam na účastníky provozu, kdy jim je nabídnuta delší doba zelené. Uvedená skutečnost se dále pozitivně odráží na době zdržení při kapacitním posouzení pro příslušné dva proudy VC1 a VC2.

4.1.4.4 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného matematickým modelem

I v případě sestaveného signálního plánu pomocí matematického modelu je potřeba kapacitně posoudit dosažené výsledky.

Dopravní proud	Délka zelené z [s]	Efektivní zelená z' [s]	Saturovaný tok vjezdu S_v [j.v./h]	Kapacita vjezdu K_v [j.v./h]	Intenzita vjezdu I_v [j.v./h]	Rezerva kapacity vjezdu Rez [%]	Střední doba zdržení t_w [s]	Délka fronty L_{F1} [m]
VA1	24	24	1860,47	587,52	450	23,41	30,14	39,00
VC1	22	22	1828,57	529,32	400	24,43	31,57	36,00
VB2	5	6	1778,72	140,43	80	43,03	45,65	9,33
VD2	5	6	1655,32	130,68	60	54,09	40,63	7,00
VB1	13	13	1860,47	318,24	250	21,44	45,80	26,25
VD1	11	11	1812,05	262,27	200	23,74	47,96	21,67
VA2	10	10,5	1760,98	243,29	180	26,02	47,23	19,65
VC2	11	11	1703,45	246,55	150	39,16	37,64	16,25

Zdroj: autor

Tab. 13 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného na základě matematického modelu

Po aplikaci výpočtu kapacitního posouzení je dosaženo na všech vjezdech křižovatky UKD minimálně ve výši C, tedy charakteristika kvality dopravy je uspokojivá. Při porovnání výsledku kapacitního posouzení pro signální plán sestavený pomocí metody saturovaného toku a matematickým modelem, je dosaženo příznivějších hodnot střední doby zdržení na vjezdech. Se snížením zmíněných hodnot je dosaženo vyšší UKD.

4.1.4.5 Sitraffic smartCore

Softwaru Sitraffic smartCore je využito v pořadí poslední sestavy signálního plánu fiktivní křižovatky.

Při samotné sestavě je nutné splnit jednotlivé dílčí kroky, které jsou popsány ve třetí kapitole práce. Pro potřeby analýzy jsou vytvořeny dva signální plány při shodných vstupních parametrech. V prvním případě je v softwaru signální plán navržen podle předpokládaného fázového schématu. Při sestavě alternativního signálního plánu je v záložce Typ ovládání (Control type) zvoleno vytvoření plánu automatizovaně. Algoritmus softwaru na základě vstupních hodnot tabulky mezičasů samostatně vytváří fázové schéma a následně graficky vyobrazuje výsledný signální plán.

Prostřednictvím softwarového rozhraní v záložce Signální skupiny (Signal groups) jsou vytvořeny dopravní proudy vyskytující se v křižovatce. V záložce jsou dále nastaveny vstupní parametry charakterizující příslušný dopravní proud. Nastavení signálních skupin je vyobrazeno v tab. 14.

Signal group	Detail type	Signal sequence				MD	Off		Supervision type
01 - VA1	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
02 - VA2	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
03 - VB1	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
04 - VB2	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
05 - VC1	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
06 - VC2	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
07 - VD1	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
08 - VD2	KFZ 3-feldig		5	3	2	<input type="checkbox"/>		2	Single red lamp(s)
09 - PA	FG 2-feldig		5			<input checked="" type="checkbox"/>		2	Simple supervision
10 - PB	FG 2-feldig		5			<input type="checkbox"/>		2	Simple supervision
11 - PC	FG 2-feldig		5			<input checked="" type="checkbox"/>		2	Simple supervision
12 - PD	FG 2-feldig		5			<input type="checkbox"/>		2	Simple supervision

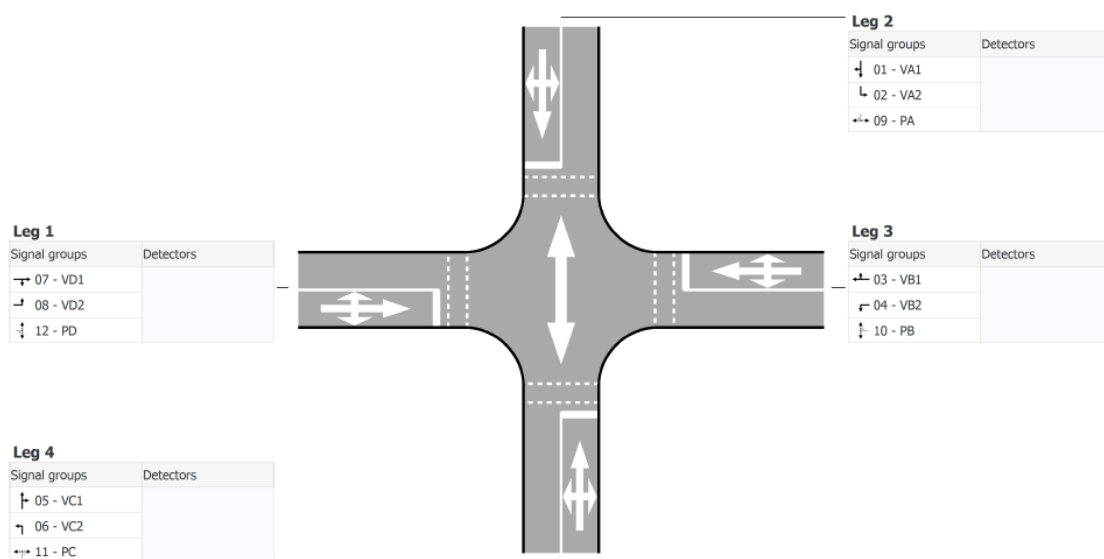
Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Tab. 14 Vytvořené signální skupiny

První sloupec tabulky reprezentuje název použité signální skupiny společně se schématickým vyobrazením směru. Následuje typ signální skupiny. V daném okamžiku je na základě popisu lokality využito vozidlových a chodeckých dopravních proudů. Sloupec zobrazující signální sekvenci odpovídá typu použité signální skupiny. S použitou signální sekvencí úzce souvisí i minimální délka zeleného signálu, ta je stanovena na 5s. U vozidlových proudů kde je využito třibarevné soustavy návěstidel se definují i časy

přechodů ze signálu stůj (červený signál) na signál volno (zelený signál) a naopak. Přechod vyobrazen v pátém řádku prezentuje dobu žlutého signálu (přechod zelená, červená) a je v trvání 3s. Opačný případ, kdy na návěstidle současně svítí červený a žlutý signál (přechod červená, zelená) má délku 2s. Zbylé řádky vyobrazené tabulky definují hlavní směr (MD).

V závislosti na vznikajících signálních skupinách, software sestavuje schéma křižovatky. Schéma je použito z výsledné dokumentace, kterou software po sestavě signálního plánu umožňuje vytvořit.



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 25 Schéma křižovatky získané v softwaru Sitraffic smartCore

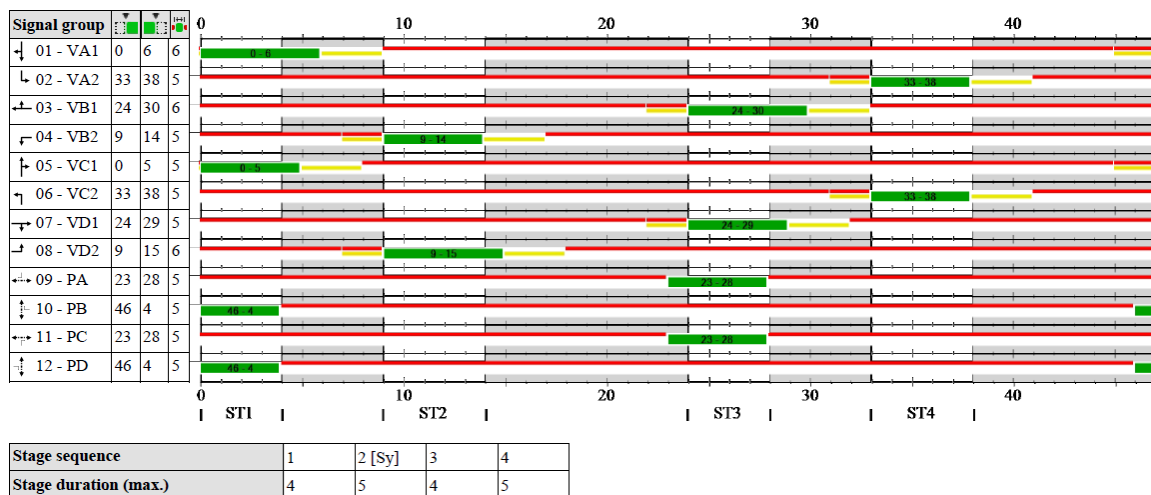
Po doplnění nezbytných informací v dalších krocích se postup nachází v záložce Fázové schéma (Stage definition). Zde uživatel zadává nebo upravuje tvar fázového schématu. V prvním případě fázové schéma odpovídá schématu, použitým při sestavě zbylými metodami. Fázové schéma je zapsáno v prostředí softwaru ve tvaru:

UZP/Sy.	Stage			
	1	2	3	4
01 - VA1	●	●	●	●
02 - VA2	●	●	●	●
03 - VB1	●	●	●	●
04 - VB2	●	●	●	●
05 - VC1	●	●	●	●
06 - VC2	●	●	●	●
07 - VD1	●	●	●	●
08 - VD2	●	●	●	●
09 - PA	●	●	●	●
10 - PB	●	●	●	●
11 - PC	●	●	●	●
12 - PD	●	●	●	●

Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Tab. 15 Fázové schéma při tvorbě uživatelem

Definováním fázového schématu uživatel dokončuje významný dílčí postup. Po jeho dokončení lze přejít k sestavení signálního plánu a jeho vizualizaci v softwaru. Dodržením fázového schématu uvedeného na obr. 16 dosahujeme řešení:



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 26 Sestavený signální plán (uživatelsky vybraná struktura fází)

Dosažené výsledky čítají signální plán s celkovou délkou cyklu 47s. Z výsledků je možné vytvořený signální plán označit jako strukturální. Z důvodu absence nástroje k výpočtu potřebných délek zelených na základě zjištěných vstupních intenzit dopravy, jsou ve většině případů doby volna v minimální délce 5s. Výjimku tvoří dopravní proudy VA1, VB1 a VD2, kde je doba volna stanovena na délce 6s.

Začátky a konce zelených společně s výslednou dobou volna jsou uvedeny v přidružené tabulce vlevo. Tímto způsobem doplněné výsledky v tabulce mají příznivý vliv na orientaci v grafické části signálního plánu.

4.1.4.6 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného s využitím softwaru Sitraffic smartCore (uživatelsky vybraná struktura fází)

Kapacitní posouzení je nezbytným prvkem k posouzení návrhu. Proto bude i signální plán sestavený prostřednictvím Sitraffic smartCore kapacitně posouzen.

Dopravní proud	Délka zelené z [s]	Efektivní zelená z' [s]	Saturovaný tok vjezdu S_v [j.v./h]	Kapacita vjezdu K_v [j.v./h]	Intenzita vjezdu I_v [j.v./h]	Rezerva kapacity vjezdu Rez [%]	Střední doba zdržení t_w [s]	Délka fronty [m]
VA1	6	7	1860,47	277,09	450	-62,40	120	1067,46
VC1	5	6	1828,57	233,43	400	-71,35	120	1026,75
VB2	5	6	1778,72	227,07	80	64,77	20,73	5,47
VD2	6	7	1655,32	246,54	60	75,66	18,01	4,00
VB1	6	7	1797,75	267,75	250	6,63	103,01	16,67
VD1	5	6	1812,05	231,33	200	13,54	62,80	13,67
VA2	5	6	1760,98	224,81	180	19,93	46,88	12,30
VC2	5	6	1703,45	217,46	150	31,02	34,21	10,25

Zdroj: autor

Tab. 16 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného v softwaru Sitraffic smartCore s využitím uživatelsky vybrané struktury fází

Z tab. 16 vyplývá, že na vjezdech VA1 a VC1 je kapacita vjezdu nižší než intenzita. Z tohoto důvodu je výsledná rezerva kapacity záporná. Podle TP 81 je-li překročena kapacita vjezdu, je úroveň kvality dopravy na stupni F (překročena kapacita). Při překročení kapacity vjezdu se uvažuje o fiktivní střední době zdržení 120s. Úroveň kvality dopravy na stupni F dosahuje také dopravní proud VB1. Z výsledů lze konstatovat, že sestavený signální plán nesplňuje požadované podmínky pro splnění kapacitního posouzení. Signální plán v této podobě není možné využít na fiktivní křižovatce k řízení

provozu. Signální plán je zapotřebí upravit, především navýšit doby zelených pro dopravní proudy.

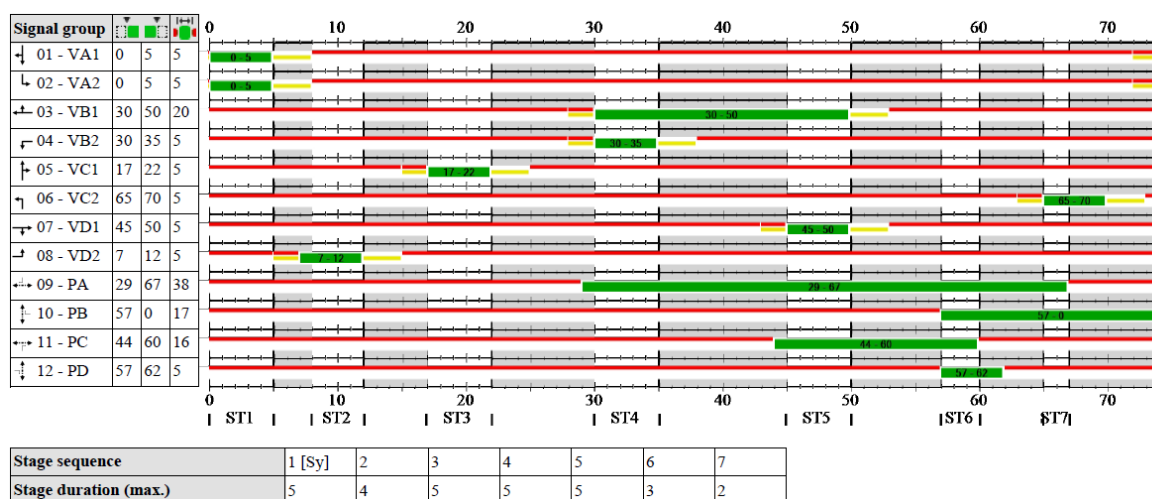
Po realizaci sestavy signálního plánu podle fázového schématu na obr. 18, je následně tento signální plán odstraněn. V záložce Typ ovládání (Control type) je označeno pole pro automatické sestavení nového signálního plánu softwarem.

	Stage						
	1	2	3	4	5	6	7
UZP/Sy.	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
01 - VA1	●	●	●	●	●	●	●
02 - VA2	●	●	●	●	●	●	●
03 - VB1	●	●	●	●	●	●	●
04 - VB2	●	●	●	●	●	●	●
05 - VC1	●	●	●	●	●	●	●
06 - VC2	●	●	●	●	●	●	●
07 - VD1	●	●	●	●	●	●	●
08 - VD2	●	●	●	●	●	●	●
09 - PA	●	●	●	●	●	●	●
10 - PB	●	●	●	●	●	●	●
11 - PC	●	●	●	●	●	●	●
12 - PD	●	●	●	●	●	●	●

Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Tab. 17 Fázové schéma při automatizované sestavě

Softwarem je sestaven signální plán se sedmi fázemi, graficky znázorněný na následujícím vyobrazení:



Zdroj: Sitraffic smartCore

Obr. 27 Sestavený signální plán (generovaná struktura fází)

Délka cyklu získaného signálního plánu je 74s. Při porovnání s předchozím výsledkem, je délka cyklu navýšena o 27s. Navýšení je mimo jiné způsobeno nadměrným počtem fází, mezi kterými se nachází fázový přechod. Ten představuje nevyužitou dobu cyklu. Při bližším pohledu ze signálního plánu vyplývá, že délky zelených pro vozidlové proudy VA1, VA2, VB2, VC1, VC2, VD1 a VD2 nabývají hodnoty 5s. Navýšenou dobu zelené má proud VB1, ten se ale nachází hned ve dvou fázích a proud VC2. Protikladem dob zelených vozidlových proudů jsou zelené vyčleněné chodcům. Ty tvoří podstatně vyšší část cyklu ve svůj prospěch. V praxi se ovšem důraz vkládá na vozidlové proudy, snahou je jim nabídnout co možná nejdelší dobu zelené. Ve většině případů, není-li přechod pro chodce příliš dlouhý, dostačuje chodcům zelená v délce 5s nebo se tato hodnota mírně navýší. V signálním plánu je vytvořen opak proti zvyklostem a z pohledu na něj lze usuzovat, že výhodnější podmínky pro vstup do křižovatky mají chodecké proudy.

4.1.4.7 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného s využitím softwaru Sitraffic smartCore (generovaná struktura fází)

Výsledek kapacitního posouzení, který je proveden i pro signální plán s generovanou strukturou fází je uveden v tab. 18.

Dopravní proud	Délka zelené z [s]	Efektivní zelená z' [s]	Saturovaný tok vjezdu S_v [j.v./h]	Kapacita vjezdu K_v [j.v./h]	Intenzita vjezdu I_v [j.v./h]	Rezerva kapacity vjezdu Rez [%]	Střední doba zdržení t_w [s]	Délka fronty [m]
VA1	5	6	1860,47	150,85	450	-198,31	120	1845,90
VC1	5	6	1828,57	148,26	400	-169,79	120	1555,77
VB2	5	6	1778,72	144,22	80	44,53	43,44	9,07
VD2	5	6	1655,32	134,21	60	55,30	38,93	6,80
VB1	20	20	1797,75	485,88	250	48,55	24,13	22,50
VD1	5	6	1812,05	146,92	200	-36,13	120	341,15
VA2	5	6	1760,98	142,78	180	-26,07	120	243,72
VC2	5	6	1703,45	138,12	150	-8,60	120	88,28

Zdroj: autor

Tab. 18 Kapacitní posouzení signálního plánu sestaveného v softwaru Sitraffic smartCore s využitím uživatelsky vybrané struktury fází

Provedením kapacitního posouzení je dosaženo obdobného výsledku jako při sestavě signálního plánu s využitím definované struktury fázového schématu uživatelem. Nesplnění podmínek pro kapacitní posouzení má za následek především omezená délka zelených pro dopravní proudy. Jelikož je délka cyklu 74s, tedy o 27s další než v prvním

případě a délky zelených u většiny proudů dosahuje délky 5s, je výsledek kapacitního posouzení opět nepříznivý. V tomto případě dosahuje UKD stupně F (překročena kapacita) celkem na pěti vjezdech. Jsou jimi VA1, VA2, VC1, VD1 a VC2. Signální plán je nutné přepracovat, především zajistit prodloužení délek zelených.

4.1.5 Porovnání získaných výsledků

K získání komplexnější analýzy výsledných signálních plánů navržených rozdílnými metodami, jsou délky cyklů a zelených signálů souhrnně vloženy do tab. 19.

	Metoda saturovaného toku	Matematický model	Sittraffic smartCore (tvorba fází uživatelé)	Sittraffic smartCore (vygenerované fáze)
Dopravní proud	Délka zelené z [s]	Délka zelené z [s]	Délka zelené z [s]	Délka zelené z [s]
VA1	27	24	6	5
VC1	27	22	5	5
VB2	5	5	5	5
VD2	5	5	6	5
VB1	15	13	6	20
VD1	15	11	5	5
VA2	11	10	5	5
VC2	12	11	5	5
PA	5	5	5	38
PB	5	5	5	17
PC	5	5	5	16
PD	5	5	5	5
Délka cyklu [s]	84	76	47	74

Zdroj: autor

Tab. 19 Srovnání výsledných dob zelených

Při pohledu do výsledné tabulky a porovnání grafických výstupů signálních plánů sestavených metodou saturovaného toku a s využitím znalosti lineárního programování, lze usoudit, že výsledky rozdílných přístupů se nikterak zvláště neliší. Jsou si velmi podobné a při výsledku kapacitního posouzení jsou vhodné k použití v praxi na fiktivní křižovatce. Délky zelených signálů odpovídají požadavkům zjištěných intenzit vstupujících do výpočtu.

Porovnáme-li výsledky získané prostřednictvím softwaru Sitraffic smartCore s metodou saturovaného toku, která byla primárně určena ke srovnání, zjistíme, že doby volna zdaleka neodpovídají potřebám lokality. V práci je ovšem několikrát zmíněno, že software v této době neumožňuje zadat intenzity dopravních proudů pro výpočet odpovídajících dob zelených signálů. Srovnáme-li grafickou podobu výsledků, jsou si signální plány s výjimkou délek zelených podobné. Software uživateli umožňuje manuálně upravit doby zelených signálů tak, aby zabezpečily potřebné délky volna. Nevýhodou tohoto řešení je, že je na uživatele kladen nárok na výpočet potřebných délek zelených pro jednotlivé dopravní proudy s využitím metod k tomuto určených. Mezičasy při přechodu jednotlivých fázích jsou splněny a odpovídají vložené matici mezičasů. Lze konstatovat, že bylo dosaženo vhodného signálního plánu v softwaru Sitraffic smartCore.

Zcela rozdílných výsledků je dosaženo automatickým sestavením signálního plánu bez možnosti definování struktury jednotlivých fází. Software nevhodně sestavuje fázové schéma, kde nevybírá maximální kompletní podgrafy, kterých bylo použito u alternativních metod. Sestavené sedmifázové schéma není v praxi použitelné. Při použití takového schématu by bylo zapotřebí mnohonásobně zvýšit délku cyklu a délky zelených jednotlivých dopravních proudů. Takto sestavený signální plán by s největší pravděpodobností nesplnil podmínky kapacitního posouzení a nemohl by tedy být použit.

4.2 Modifikace křižovatky

Při analýze softwaru je vytvořeno několik modifikací fiktivní křižovatky. Účelem modifikací je otestovat vygenerované signální plány při odlišných vstupních parametrech.

V jednom z případů je sestaven signální plán pro fiktivní křižovatku, u které jsou zrušeny chodecké proudy. V upravených podmínkách vstupují do křižovatky pouze vozidlové dopravní proudy. Ostatní vstupní parametry, především matice mezičasů, korespondují s fiktivní křižovatkou.

Při zmíněných vstupních podmínkách je softwarem vygenerován signální plán. V signálním plánu je použito následující vygenerované čtyřfázové schéma:

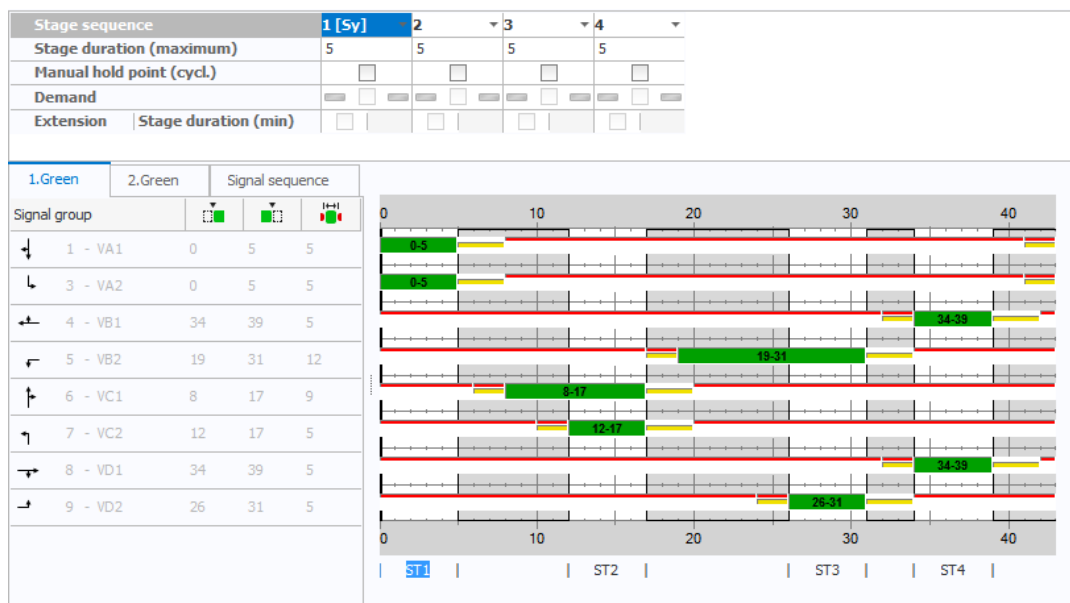
	Stage			
	1	2	3	4
UŽP/Sy.				
↖ 01 - VA1				
↙ 03 - VA2				
↗ 04 - VB1				
↘ 05 - VB2				
↖ 06 - VC1				
↗ 07 - VC2				
↘ 08 - VD1				
↖ 09 - VD2				

Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Tab. 20 Vygenerované čtyřfázové schéma

Algoritmus softwaru preferuje u prvních dvou fází vpuštění celého příslušného ramena. Ve společné fázi je tedy dopravní proud VA1, VA2 v první fázi a následně VC1, VC2 ve fázi číslo dvě. Třetí fázi tvoří samostatně levá odbočení ramene B a D. V poslední fázi jsou zastoupeny zbylé dva dopravní proudy VB1 a VD1.

V prostředí softwaru Sitraffic smartCore je podle vygenerovaného fázového schématu sestaven signální plán ve tvaru:



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 28 Signální plán při fázovém schématu 1 – 2 – 3 – 4

Při generování signálního plánu software použil fázové schéma v tomto sledu:

1 Fáze → 2 Fáze → 3 Fáze → 4 Fáze

Pro přehlednost jsou rozhodující mezičasy pro dané fáze vypsány v následujících vyobrazeních:

Fáze	Najíždí		Fáze	Najíždí	
1→2			2→3		
Vyklizuje	VC1	VC2	Vyklizuje	VB2	VD2
VA1	0	7	VC1	2	4
VA2	3	0	VC2	2	9
$t_{m1,2}$	7		$t_{m1,2}$	9	

Fáze	Najíždí		Fáze	Najíždí	
3→4			4→1		
Vyklizuje	VB1	VD1	Vyklizuje	VA1	VA2
VB2	0	3	VB1	4	3
VD2	3	0	VD1	3	4
$t_{m1,2}$	3		$t_{m1,2}$	4	

Zdroj: autor

Tab. 21 Mezičasy při fázovém přechodu 1 – 2 – 3 – 4

Při stávajícím sledu fází je součet rozhodujících mezičasů v délce trvání 23s. Danou hodnotu součtu rozhodujících mezičasů je možné ověřit i v sestaveném signálním plánu odečtením délek příslušných fázových přechodů. Ty jsou vyobrazeny šedivou plochou.

Sestavený signální plán má délku cyklu 43s. Hodnoty délek zelených pro většinu proudů je v minimální délce trvání 5s. Výjimku tvoří dopravní proud VC1 nacházející se v druhé fázi, který je možno v závislosti na mezičasech s proudy první fáze, prodloužit do fázového přechodu. Délka zelené pro proud VC1 nabývá hodnoty 9s. Obdobná situace nastává ve třetí fázi, zde umožňují mezičasy prodloužit do fázového přechodu délku zelené pro proud VB2. Zanesení délky zelené do přechodové fáze se projeví zvýšením hodnoty na 12s.

K ověření optimálního pořadí fází je proveden kontrolní výpočet s využitím Littlova algoritmu. Po jeho aplikaci, je nalezen sled fází s výslednou hodnotou rozhodujících mezičasů 22s. Uvedená výsledná hodnota nastává při fázovém schématu:

$$1 \text{ Fáze} \rightarrow 3 \text{ Fáze} \rightarrow 4 \text{ Fáze} \rightarrow 2 \text{ Fáze}$$

I v tomto případě jsou pro kontrolu vyobrazeny hodnoty rozhodujících mezičasů:

Fáze	Najíždí	
1→3		
Vyklizuje	VB2	VD2
VA1	3	2
VA2	9	2
$t_{m1,2}$	9	

Fáze	Najíždí	
3→4		
Vyklizuje	VB1	VD1
VB2	0	3
VD2	3	0
$t_{m1,2}$	3	

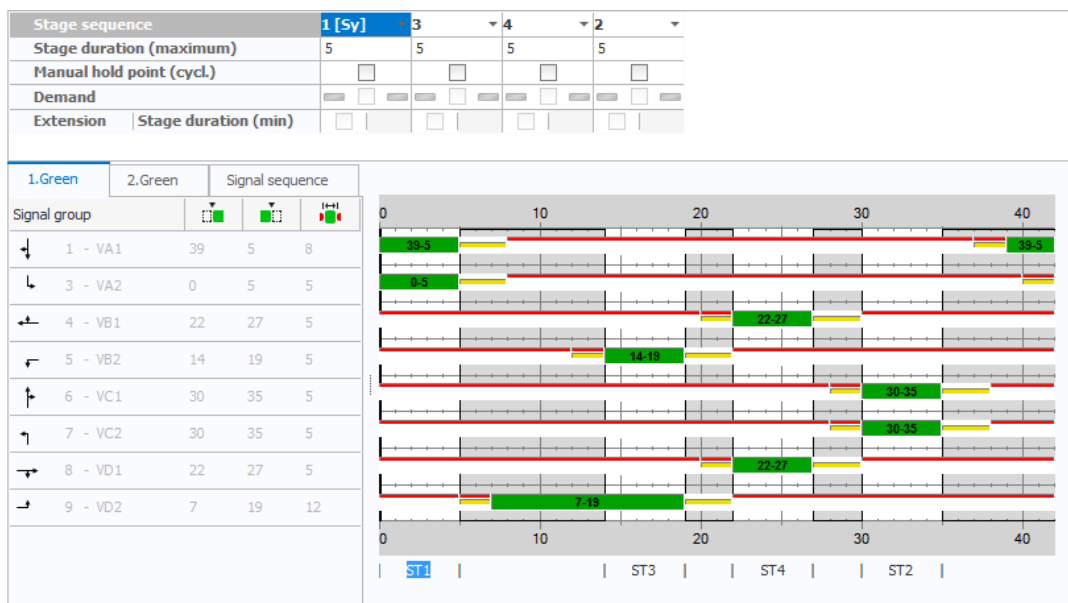
Fáze	Najíždí	
4→2		
Vyklizuje	VC1	VC2
VB1	2	3
VD1	3	2
$t_{m1,2}$	3	

Fáze	Najíždí	
2→1		
Vyklizuje	VA1	VA2
VC1	0	7
VC2	4	0
$t_{m1,2}$	7	

Zdroj: autor

Tab. 22 Mezičasy při fázovém přechodu 1 – 3 – 4 – 2

Fázové schéma 1 – 3 – 4 – 2 je následně použito při opětovném sestavení signálního plánu.



Zdroj: Sitraffic smartCore (upraveno)

Obr. 29 Signální plán při fázovém schématu 1 – 3 – 4 – 2

Změna fázového schématu nemá výrazný vliv na délky zelených pro dopravní proudy. Obdobně jako při generovaném signálním plánu jsou ve většině případů hodnoty v minimální délce. Analogie nastává také v trvání zelené ve vybraných proudech, kde prodloužení této doby umožní potřebné mezičasy mezi fázemi, které jsou nižší než rozhodující mezičas. V tomto případě se jedná o proud VA1, kde doba zelené je v trvání 8s, druhým proudem, kde existuje možnost prodloužení je proud VD2 a to na hodnotu 12s.

Po změně sledu fází je výsledná doba cyklu 42s. Cyklus je zkrácen o 1s. Zkrácení cyklu má za následek snížení součtu rozhodujících mezičasů z 23s na 22s. Ve výsledném signálním plánu výběrem fázového schématu 1 – 3 – 4 – 2 snížíme neproduktivní dobu o 1s. Vzniklá situace má pozitivní vliv na vozidlové proudy, pro které se v porovnání s fázovým schématem 1 – 2 – 3 – 4 snížením neproduktivní doby cyklu navýší možnost vpuštění vozidel do křižovatky. Zkrácení doby cyklu má rovněž dopad na celkový počet cyklů, které je možné provést za období provozu křižovatky. Navýší se tedy počty vstupů jednotlivých dopravních proudů do křižovatky.

5. IDENTIFIKACE MOŽNOSTÍ ROZŠÍŘOVÁNÍ SOFTWARE A MOŽNOSTI OPTIMALIZACE KVALITY GENEROVANÝCH VÝSLEDKŮ

Záměrem kapitoly je interpretovat nalezená východiska, která by umožnila rozšířit současný produkt Sitraffic smartCore. V průběhu analýzy softwaru bylo získáno několik podkladů k rozšíření. Při hledání možného rozšíření je kladen důraz na úplnost procesu sestavení signálního plánu, který vychází z TP 81 a je popsán výše v diplomové práci.

Při práci v softwaru Sitraffic smartCore, ve kterém je sestaven signální plán pro fiktivní křižovatku, jsou shledány následující prvky, které jsou vhodné k rozšíření softwaru a mají podstatný vliv na kvalitu generovaných výsledků.

- zavedení hodnot intenzity dopravy pro vstupující dopravní proudy,
- zavedení přiřazení počtu řadících pruhů pro vjezdy,
- zavedení automatizovaného výpočtu mezičasů,
- využití matematických modelů,
- zavedení kapacitního posouzení,

V dalším průběhu práce jsou výše navržené možnosti rozšíření slovně okomentovány společně s dopadem na kvalitu výsledných signálních plánů.

5.1 Intenzity dopravy

Definování intenzity dopravy pro dopravní proudy vstupující do křižovatky je jedním z nejdůležitějších vstupních parametrů k výpočtu signálních dob, které jsou následně využity k sestavení signálního plánu. Potřeba zajistit dopravním průzkumem informace o zatížení jednotlivých dopravních směrů a skladbě dopravního proudu v křižovatce je popsána i v TP 81 a slouží jako významný podklad návrhu.

Z tohoto důvodu, by měl být software primárně rozšířen o hodnoty intenzit dopravy. V současné době software s intenzitami dopravy nepracuje. Jak již bylo výše zmíněno, tyto vstupní parametry výrazně ovlivňují výsledné signální doby, především potřebnou délku zelených signálů. S vyloučením intenzit dopravy analyzovaný software neumožní sestavit signální plán, který by zajistil potřebné doby signálů volno v závislosti na dopravním zatížení v příslušném směru. Nyní software sestaví takové doby signálu volno, které jsou ve vstupních parametrech zadány jako minimální. Minimální hodnota dle TP 81 je 5s. Software nanejvýš prodlouží dobu signálu volno v závislosti na délce mezičasů přechodové fáze.

Při implementaci těchto vstupních parametrů do softwaru je vhodné, aby zadávání intenzit dopravy probíhalo v záložce Signální skupiny (Signal groups). V této záložce již existuje položka vlastnosti (properties), kde se zadává typ a směr dopravního proudu. Záložku je možné rozšířit o místo vhodné k zadání příslušné intenzity dopravy.

Pro snazší orientaci se mohou intenzity dopravy přenést i do generovaného topologického schématu křižovatky. Hodnota intenzity dopravy se zapíše v blízkosti příslušné signální skupiny.

5.2 Počty řadících pruhů

V pořadí druhým rozšířením, kterým je možnost rozšíření počtu řadících pruhů, by se výrazně navýšily možnosti využití softwaru. Především na křižovatkách v městských aglomeracích, které jsou výrazněji zatížené. V těchto lokalitách jsou vjezdy obvykle tvořeny více než jedním řadícím pruhem. Navýšení počtu řadících pruhů má následný vliv na celkovou propustnost křižovatky, jelikož umožní vstup většího počtu vozidel při shodné délce zeleného signálu.

V současných podmínkách nelze v softwaru zadat více než jeden řadící pruh na příslušném vjezdu daného směru. I přesto, že prvotním záměrem při vývoji softwaru bylo vytvořit nástroj pro méně komplikované křižovatky, absence přidělení počtu řadících pruhů výrazně snižuje oblast využití.

Přidání prvku, prostřednictvím kterého by uživatel definoval počet jízdních pruhů, je možné opět vložit do záložky Signální skupiny (Signal groups), respektive do oblasti, kde se zadávají vlastnosti signální skupiny. Uživatelsky přívětivé je zadávat jmenované parametry do předpřipraveného řádku, který je možné doplnit o směrové šipky. Ty by umožnily jednoduchým kliknutím navýšit nebo snížit počet řadících pruhů o jeden.

V souvislosti se zavedenou změnou počtu řadících pruhů uživatelem se přechod projeví v topologickém schématu. Zde se na pozměněných vjezdech graficky zobrazí přidané prvky. Pozměněného schématu uživatel využije i v následujících krocích při sestavě signálního plánu.

5.3 Výpočet mezičasů

Při sestavě fázového schématu, se vybírají do fáze výlučně nekolizní, respektive vybrané podmíněně kolizní dopravní proudy. V daném okamžiku se pracuje s tzv.

mezičasy. Tyto doby slouží k zachování bezpečného vstupu mezi vzájemně kolizními dopravními proudy do prostoru křižovatky. Potřebnou délku bezpečnostní doby je nutno vypočítat. Při výpočtu se vychází z geometrie křižovatky. Zde jsou měření získány potřebné najížděcí a vyklizovací dráhy, které vozidlo, popřípadě chodec absolvují před dovršením kolizního bodu.

Sitraffic smartCore na základě vytvoření signálních skupin generuje tabulku mezičasů. Ta se nalézá v záložce Matice mezičasů (Integreen time matrix), do které uživatel vkládá vypočtené mezičasy.

Procedura výpočtu mezičasů je pro uživatele velice časově náročná, navíc vyžaduje správnost výpočtem získaných dob, jelikož mají výrazný vliv na bezpečnost provozu v křižovatce. Jakákoliv chyba ve výpočtu zapříčinuje vznik konfliktních situací účastníků provozu, ty mohou vyústit v dopravní nehody.

Především z důvodu snížení možnosti chyby zapříčiněné uživatelem při nesprávném zadání konečné mezidoby do matice mezičasů, je potřeba eliminovat toto pochybení tím, že příslušné mezičasy zajistí výpočtem samotný software.

V zásadě existuje více variant pro vložení podkladů k výpočtu mezičasů. První varianta je, že by uživatel získal potřebné údaje z výkresové dokumentace, popřípadě by je odečetl v některém dostupném konstrukčním softwaru. Získané délky drah by následně vkládal do tabulky, která by se vytvářela na základě vstupních údajů signálních skupin. Software by následně automatizovaně vypočetl hodnotu mezičasu. Tato skutečnost by z části umožnila případnou nezávislou kontrolu správnosti vypočtených mezičasů. Nevýhodou tohoto návrhu je, že stále část zodpovědnosti má uživatel a může zanést do výpočtu nepřesnost. Výsledná tabulka návrhu by mohla mít obdobný tvar jako tabulka uvedená v příloze 2.

Alternativní varianta k vložení podkladů a výpočtu mezičasů je, že by se do software zavedla výkresová dokumentace. Z té by následně algoritmus softwaru zajistil kolizní dopravní pohyby. V závislosti na trajektoriích jednotlivých směrů by stanovil kolizní body (alternativně kolizní plochy) od kterých by následně získal najížděcí a vyklizovací dráhy. Ze získaných parametrů by u kolizních dopravních proudů vypočetl hodnotu mezičasu. Druhá varianta získání matice mezičasů je výrazně složitější z pohledu implementace do softwaru, má ovšem markantní přínos pro koncového uživatele. Ve skutečnosti vylučuje chybu zapříčiněnou lidským faktorem. I zde se vyskytuje možnost kontrolního přepočtu mezičasů.

5.4 Zavedení matematického modelu

V předchozí kapitole jsou použity matematické modely. Prostřednictvím prvního modelu je zajištěno využití minimálního počtu fází k řízení provozu. Druhý model slouží k zisku délek signálů volno pro dopravní proudy.

Především začlenění prvně zmiňovaného matematického modelu značně rozšíří software Sitraffic smartCore a zkvalitní dosažené výsledky při tvorbě fázového schématu. V průběhu analýzy softwaru v jednom z navržených případů není získán optimální sled fází, v dalším případě není vybrán minimální počet fází, který je možno zavést. S využitím matematického modelu, který minimalizuje počet fází, těchto nevhodných výsledků nedosahujeme.

Minimalizují-li se počty fází, je možné vycházet z grafu bezkoliznosti, u kterého se vyhledají maximální kompletní podgrafy. Ty zajistí, že v jednotlivých fázích budou pokud možno vybrány maximální kompletní podgrafy. Eliminují se situace, že ve výsledném fázovém schématu se nachází fáze čítající například pouze jeden dopravní proud.

Druhý matematický model, sloužící ke stanovení signálních dob lze použít k výpočtu potřebných dob zelených v závislosti na vstupních intenzitách dopravy. Matematický model lze podle potřeby upravit, tak aby se zkvalitnily dosažené výsledky podle různých modifikací.

5.5 Kapacitní posouzení

Kapacitní posouzení je podle TP 81 posledním krokem, který slouží k ověření vhodnosti sestaveného signálního plánu. Je to také jeden z nutných předpokladů ke schválení příslušného signálního plánu dané platnou legislativou na území ČR. Na základě kladného výsledku kapacitního posouzení lze poté v dané lokalitě signální plán použít.

Opatří-li se software Sitraffic smartCore záložkou zohledňující kapacitní posouzení, umožní software provést kompletní proces sestavy signálního plánu včetně tohoto kroku. V daném okamžiku není nutné provádět kapacitní posouzení individuálně. Posouzení bude součástí výsledné dokumentace, kterou lze prostřednictvím software docílit a následně uložit nebo vytisknout.

6. ZÁVĚR

Diplomová práce s názvem Analýza nového softwarového produktu pro návrh signálního plánu se zabývala sestavou signálních plánů vybranými metodami, které byly následně porovnávány s výsledky získaných prostřednictvím softwaru Sitraffic smartCore, vyvinutým společností Siemens. Sitraffic smartCore je specializovaný software k sestavě signálních plánů.

V úvodu práce jsou popsány jednotlivé přístupy k sestavě signálního plánu společně s metodami, které jsou následně v diplomové práci využity. Kapitole popisující teoretické východiska práce plynule navazuje popis softwaru z pohledu dopravního inženýra a zároveň uživatele. Popis softwaru si klade za cíl především seznámení s prostředím pro další efektivní práci.

Následující kapitolu tvoří již praktická část diplomové práce. Zde je pro fiktivní průsečnou křižovatku vytvořen signální plán metodou saturevaného toku, pomocí lineárního programování s využitím matematického modelu a v softwaru Sitraffic smartCore. Výsledky metod jsou dále detailněji okomentovány. Poslední část kapitoly tvoří výsledky analýzy při modifikaci vstupních parametrů křižovatky s následným vložením do softwaru.

Na základě výsledků získaných v předchozí kapitole byly v závěrečné části práce shledány následující možnosti rozšíření softwaru Sitraffic smartCore:

- zavedení hodnot intenzity dopravy pro vstupující dopravní proudy,
- zavedení přiřazení počtu řadících pruhů pro vjezdy,
- zavedení automatizovaného výpočtu mezičasů,
- využití matematických modelů,
- zavedení kapacitního posouzení,

Vybavením softwaru zmíněným rozšířením by umožnilo výrazně ovlivnit výběry fázových schémat, následně sestavené signální plány a při praktických výpočtech získat vhodnější řešení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů

BARTOŠ, L.: *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích (TP 189)*, 2. vydání, Vydalo: EDIP s.r.o., 76 s., ISBN 978-80-87394-06-9

GOLC, K.: *Návrh signálního plánu pro řízení provozu na vybrané křižovatce*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 79 s. Vedoucí práce: Ing. Teichmann, D., Ph.D.

KŘIVDA, V.: *Organizace a řízení dopravy II*, 1. vydání, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2009, 154 s., ISBN 978-80-248-2123-8

MARTOLOS a kol.: *Posuzování kapacity světelně řízené křižovatky (TP 235)*, 1. Vydání, Vydalo: EDIP s.r.o., 2011, 52 s, ISBN 978-80-87394-03-8

MEDELSKÁ, V. et al.: *Dopravné inženýrstvo*, 1. vydání, Vydavatelství Alfa, Bratislava, 1991, 376 s., ISBN 80-05-00737-X

Historie Siemens

URL: < https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/o_nas/Pages/profil_spolecnosti.aspx > [cit. 2014 – 4 - 19]

Littlův algoritmus

URL: < http://issuu.com/michdor/docs/m14_animace_5?e=7481937/1637232 >
[cit. 2014 – 5 - 15]

PROCHÁSKA, M.: *Ústní sdělení (zaměstnanec Siemens, Olomoucká 7/9, Brno), dne 25. února 2014*

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Metoda saturovaného toku

Příloha 2: Výpočet mezičasu pro fiktivní křižovatku

Příloha 3: Výpočet koeficientu oblouků